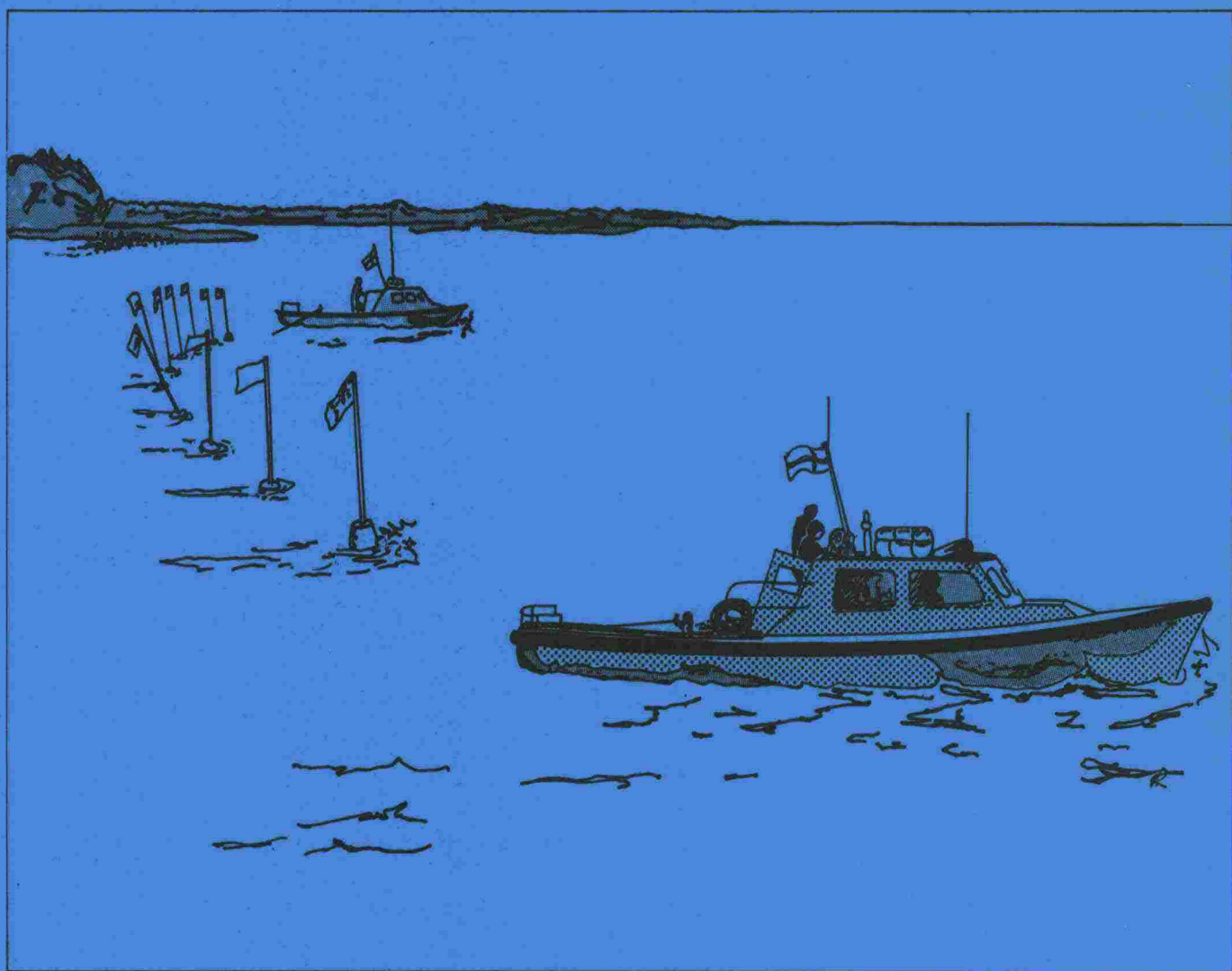


VAIJERIHARATUTKIMUS



MERENKULKUHALITUS

SUOMALAINEN INSINÖÖRITOIMISTO OY

ESPOO 1979

VAIJERIHARATUTKIMUS

556 VAI

5436



MERENKULKUHALITUS

SUOMALAINEN INSINÖÖRITOIMISTO OY

ESPOO 1979

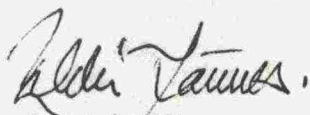
Merenkulkuhallituksen toimeksiannosta Suomalainen Insinööritoimisto Oy on selvittänyt vaijeriharan tarkkuutta ja käyttöä meriväylätutkimuksissa. Tässä raportissa on esitetty suoritettujen tutkimusten tulokset ja pyritty antamaan suosituksia kaluston käytöstä ja itse kalustosta.

Tutkimus suoritettiin kesällä 1977 ja 1978. Sääolosuhteiden vaihteluiden takia tehtiin tutkimus osittain avoimella ulkomerialueella ja osittain saariston suojassa. Ulkomerialueella haran pituus oli 300 m ja harausvyvyys $H_s = 13,0$ m ja saariston suojassa haran pituus vaihteli 100-150 m ja harausvyvyys $H_s = 5,0 \dots 10,0$ m.

Tutkimukseen ovat osallistuneet merenkulkuneuvos Eero Muuri ja toimistopäällikkö Seppo Laurell MKH:sta, dipl.ins. Lassi Rämö TVH:sta sekä dipl.ins. Erkki Jännes, ins. Jukka Venhola ja ins. Tapio Väkiparta Suomalainen Insinööritoimisto Oy:stä.

Espoossa 1.4.1979

SUOMALAINEN INSINÖÖRITOIMISTO OY


Erkki Jännes


Jukka Venhola

1	VAIJERIHARAUS	
	1.1 Tutkimusryhmä ja tutkimusvälineet	1
	1.2 Työskentelytapa	2
2	SUORITETUT TUTKIMUKSET	
	2.1 Tutkimustavat	
	2.11 Pohjavaijerin kulkusyvyys ja liikkeet	4
	2.12 Lippuviitan liikkeet	4
	2.13 Sääsuhteiden vaikutus	6
	2.14 Muut tutkimukset	6
	2.2 Tutkimustulokset	
	2.21 Pohjavaijerin kulkusyvyys ja liikkeet	7
	2.22 Haran käyttäytyminen pohjakosketuksen aikana	11
	2.23 Maastotutkimuksen tulokset	12
	2.24 Laskennallinen tarkastelu	14
	2.25 Putkihara	15
	2.26 Haran vetovoiman vaikutus tarkkuuteen	16
	2.27 Harauksen peittävyys	18
	2.28 Sääsuhteiden vaikutus haraan	19
3	YHTEENVETO	
4	SUOSITUKSET	
	4.1 Haratyypit	26
	4.2 Rakenteelliset muutokset	26
	4.3 Harausnopeus	27
	4.4 Ylisyytykset	27
	4.5 Sääolosuhteet	27
	4.6 Peittävyys	28
	4.7 Työskentelytavat	28

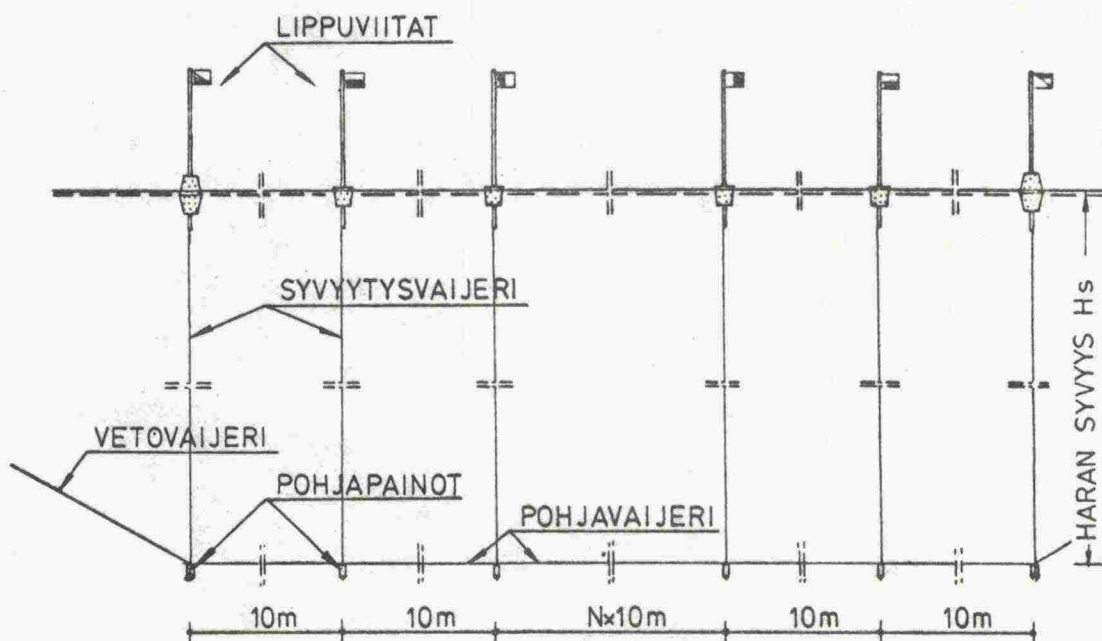
LIITTEET

Liite n:o

Vaijeriharan lippuviitta	1
Vaijeriharan pohjapaino	2
Pohjaeste	3
Lippuviitan kaltevuuden ja pohjavaijerin nousun välinen riippuvuus (10 m:n lippuviittaväli)	4
Lippuviitan kaltevuuden ja pohjavaijerin nousun välinen riippuvuus (5 m:n lippuviittaväli)	5
Yksittäisen lippuviitan kaltevuuden ja pohjavaijerin nousun välinen riippuvuus	6
Lippuviitan kaltevuuden ja pohjaputken nousun välinen riippuvuus	7
Vetovoiman, pohjavaijerin nousun ja lippuviitan kallistuman välinen riippuvuus (haran pituus 130 m)	8
Vetoveneiden vetovoimat moottorin kierrosnopeuksien suhteen	9
Vierekkäisten harauslinjojen peittävyys	10
Yhdestä valokuvasta mitattu vaijeriharan lippuviittojen kallistusten vaihtelualue ja keskiarvo tuulen nopeuden ja suunnan suhteen	11
Laskelmat	12/1...12/19
Tuulen nopeuden ja boforien välinen riippuvuus	13

Tutkimusryhmä ja tutkimusvälineet

Vaijeriharauksessa käytettävän tutkimusvälineistön muodostavat varsinainen hara sekä 3 moottorivenettä. Vaijerihara käsittää pohjavaijerin ja siihen kiinnitettävät painot sekä näiden kannattamiseen tarvittavat lippuviitat. Lippuviittojen lukumäärä on yleensä merialueen tutkimuksissa 31-41 kappaletta ja haran pituus 300-400 m. Sisävesialueilla ja kapeilla saaristoväylillä käytetään myös lyhyempää haraa, jonka pituus on 100-200 m.



KUVA 1 VAIJERIHARA

Lippuviitan (ks. liite 1) muodostaa 2,15 m pituinen halkaisijaltaan 40 mm alumiiniputki, jonka alaosassa on kannatuskoho. Kannatuskohona käytetään katkaistun kartion muotoista solumuovikappaletta, jonka tilavuus on 23 l. Reunimmaisissa lippuviitoissa käytetään kahta 23 l:n solumuovikohoa. Lippuviitan paino vaihtelee 4,5-5,0 kg välillä.

Lippuviitan alapäästä lähtevään syvyytysvaijeriin kiinnitetään pohjapaino (ks. liite 2). Pohjapaino on yleensä muodoltaan matala halkaisijaltaan 200 mm sylinteri tai pallo, jonka halkaisija on n. 170 mm. Pohjapaino painaa 15-16 kg. Reunimmaisten lippuviittojen pohjapainot painavat noin 30 kg. Pohjapainossa olevaan lenkkiin (ks. liite 2) kiinnitetään pohjavaijeri. Pohjavaijerin pituus on normaalisti 10 m, mikä on myös lippuviittojen väli.

Vaijeriharaukseen käytettävistä moottoriveneistä yksi toimii harauksen johto- ja paikanmääritysveneenä ja kaksi muuta venettä vetää välissään vaijeriharaa. Johtoveneessä on haraustyön johtajan lisäksi yksi ammattimies, joka suorittaa paikanmääritykset haraustyön johtajan kanssa sekä veneen kuljettaja ja 1-2 miestä. Vetoveneissä on kuljettajan lisäksi kaksi miestä, jotka suorittavat haran laskemisen ja nostamisen. Yhteensä harausta suorittavissa veneissä on 10-11 miestä.

1.2

Työskentelytapa

Vaijeriharaa käytetään eniten laajojen vesialueiden varmistusharauksessa. Näillä alueilla on pohjakosketuksia yleensä vähän. Haraa voidaan erikoistapauksissa käyttää myös ns. verhokäyrän harauksessa. Tällöin hara ajetaan matalan reunaan kiinni mahdollisimman pitkällä matkalla. Lippuviittojen sijaintipisteet yhdistämällä voidaan muodostaa suhteellisen tarkka täyssyvän rajaava kupera verhokäyrä.

Haran syvyytys suoritetaan säätämällä syvyytysvaijerin pituus siten, että lippuviitan kohon vesirajan ja pohjavaijerin väli on halutun haraussyvyyden suuruinen. Haraukseen liittyvän epätarkkuuden vuoksi vaijerihara syvytetään 50-150 cm normaalia väylän haraussyvyyttä syvemmälle (ns. ylisyvyytys).

Vaijeriharan laskeminen suoritetaan kahdesta vetoveneestä, jotka kummatkin purkavat keloiltaan samansuuruisen määrän pohjavaijeria. Eri veneiden pohjavaijeriosuudet yhdistetään ja niihin kiinnitetään alaslaskun aikana 10 m:n välein pohjapaino ja lippuviittavaijeri. Kun koko hara on laskettu, reunimmaisiin pohjapainoihin kiinnitetään noin 100 m:n pituiset hinausköydet ja haraus aloitetaan vetoveneiden ollessa kuvan 8 (sivu 18) mukaisissa asemissa.

Vaijeriharan sijainnin määrittäminen edellyttää käytännöllisiä ja riittävän tarkkoja paikanmääritysmenetelmiä. Vaijeriharan paikanmääritys suoritetaan yleensä johtoveneestä käsin haran päästä lukien toisen ja kolmannen lippuviitan välistä. Paikanmääritys suoritetaan optisia kulmanmittauslaitteita käyttäen. Optisina mittausvälineinä käytetään normaalisti kahta kvintanttia, joilla mittaus suoritetaan taaksepäinleikkauksena. Havaitut kulma-arvot merkitään yleensä 1:20000 mittakaavaiselle työlevylle joko kulma-asetinta käyttäen tai laskennallisesti saatujen koordinaattien avulla.

Paikanmääritystä on avomerialueilla suoritettu myös radioteknisillä laitteilla. Radioteknisenä paikanmäärityslaitteena on käytetty decca-laitteistoa. Tällä paikanmääritystavalla voidaan vaijeriharan sijainti selvittää myös sellaisissa olosuhteissa, joissa optinen paikanmääritys ei ole mahdollista pitkien välimatkojen tai huonojen sääolosuhteiden takia.

2

SUORITETUT TUTKIMUKSET

2.1

Tutkimustavat

Pohjavaijerin kulkusyvyiden ja liikkeiden tutkiminen suoritettiin kaikuluotainta käyttäen. Havainnot tehtiin vaijeriharan kahdessa reunimmaisessa ja keskimmäisessä lippuviittavälissä. Lippuviitan käyttäytymistä pohjakosketuksen ja haravaijerin nostojen yhteydessä selvitettiin silmävaraisin havainnoin ja valokuvaamalla. Samoin tutkittiin lippuviitan käyttäytymistä lippuviittavälin ollessa normaalia lyhyempi (5 m) sekä käyttämällä erilaisia pohjavaijerin kiinnitystapoja. Sääsuhteista selvitettiin tuulen ja aaltojen vaikutusta haraan. Pohjavaijerin ja lippuviittojen käyttäytymistä tutkittiin myös teoreettisin laskelmin.

Tutkimuksen yhteydessä pyrittiin myös selvittämään miten haran tarkkuus muuttuu, kun pohjavaijeri korvataan jäykällä putkella.

2.11

Pohjavaijerin kulkusyvyys ja liikkeet

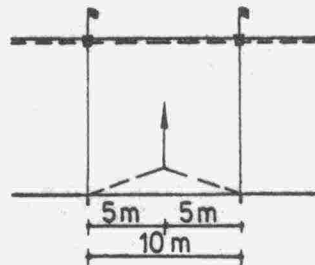
Pohjavaijerin kulkusyvyyttä ja liikkeitä selvitettiin Atlas-Deso 10 kaikuluotaimella. Kaikuluotaimen piirturilaitteen pystymittakaavaksi valittiin 1:100. Laitteen lukematarckkuus on tällöin noin ± 50 mm. Pituussuuntaiseksi mittakaavaksi saadaan noin 1:300, kun diagrammipaperin kulkunopeus on 100 mm/min. ja veneen kulkunopeus 1,0 solmu.

2.12

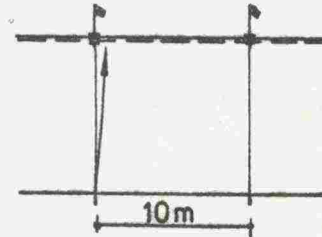
Lippuviitan liikkeet

Vaijeriharan pohjakosketus voidaan yleensä havaita ainoastaan pohjaesteen aiheuttaman lippuviittojen liikkeiden perusteella. Pohjavaijerin nousujen aiheuttamien lippuviittojen liikkeiden suuruutta selvitettiin silmävaraisin havainnoin sekä valokuvaamalla lippuviitan heilahtelua.

Lippuviittatutkimukset suoritettiin pääasiassa normaalin haraustyön yhteydessä. Haran päällä kulkevasta veneestä käsin nostettiin pohjavaijeria eri kerroilla pohjapainojen välisen pohjavaijerin keskikohdasta (kuva 2) ja pohjapainon kohdalta (kuva 3). Nostoilla pyrittiin kuvaamaan pohjavaijerin kulkua laakean, sileäpintaisen kallion tai muun sellaisen pohjamuodostuman yli, jossa haran ja pohjan välinen kitka on suhteellisen vähäinen. Lisäksi seurattiin lippuviittojen liikkeitä ajamalla haraa rata-kiskosta rakennetun pohjaesteen yli (liite 3). Lippuviittojen käyttäytymistä selvitettiin myös normaalin haraustyön aikana tapahtuneiden pohjakosketusten yhteydessä.



KUVA 2



KUVA 3

NOSTOKOHDAN SIJAINNIT LIPPUVIITTAN LIIKKEITÄ TUTKITTAESSA

Lippuviittojen heilahtelujen valokuvaus suoritettiin moottoroidulla kuvasiirtäjällä varustetulla kinofilmikameralla Nikon F2. Objektiivina käytettiin laajakulmaa ja 125 mm:n kauko-objektiivia. Valokuvia otettiin pohjakosketuksen yhteydessä 2 tai 3 kuvaa sekunnissa 10-30 kuvan sarjoina.

2.13

Sääsuhteiden vaikutus

Aallon korkeus ja pituus mitattiin aallon korkeus- ja pituusmittarin avulla. Aallon korkeus mitattiin tekemällä korkeushavainnot vähintään 50 peräkkäisestä aallosta. Korkeushavainnoista laskettiin merkitsevän aallon korkeus ja havaintosarjan aallon korkeuksien keskiarvo. Merkitsevä aallonkorkeus saatiin mittaamalla 50 peräkkäistä aallonkorkeutta ja laskemalla havaintojen suuruusjärjestyksessä isoimman kolmanneksen keskiarvo.

2.14

Muut tutkimukset

Harauksen etenemisnopeutta normaalissa haraustyyssä selvitettiin siten, että johtoveneessä olevat paikanmäärittäjät merkitsivät kulmahavaintojen suorittamisajankohdan harauspöytäkirjaan. Havaintopisteiden välimatkaan käytetyn ajan avulla laskettiin haran kulkunopeus.

Hinausveneiden vetovoimien suuruudet mitattiin jousivaalla. Jousivaaka kiinnitettiin vetoveneen hinauskoukun ja haran vetoköyden väliin. Hinausveneiden vetovoimat mitattiin moottorien kierrosnopeuksien suhteen.

Vierekkäisten harauslinjojen peittävyys selvittämiseksi laskettiin v. 1975 Kihdin väylällä suoritettujen haraustöiden tulokset vaijeriharauspöytäkirjassa esitettyjen kulmahavaintoarvojen perusteella (liite 10).

2.2

Tutkimustulokset

Maastotutkimuksen aikana selvitettiin ensisijaisesti haran käyttäytymistä pohjakosketuksen aikana. Lisäksi vaijerin kulkusyvyyttä selvitettiin täyssyväharauksen yhteydessä kun pohjakosketuksia ei tapahtunut.

2.21

Pohjavaijerin kulkusyvyys
ja liikkeet

Pohjavaijerin todellinen kulkusyvyys riippuu haran syvytystason tarkkuudesta ja haravaijerin mahdollisista liikkeistä työn aikana.

Kaikuluotaustulosten mukaan haravaijeri kulkee normaallissa haraustilanteessa tasaisesti eikä merkittävää heiluntaa havaita. Luotausdiagrammeista määritettiin haravaijerin keskimääräinen kulkusyvyys haran syvytystason ollessa -10,0 m. Keskimääräiseksi kulkusyvyydeksi saatiin reunavälissä -9,96 m, toiseksi reunimmaisessa välissä -10,04 m ja keskimmaisessä välissä -10,07 m. Suurimmat havaitut erot em. keskimääräisten kulkusyvyyksien ja eri aikana suoritettujen ajokertojen keskiarvojen välillä olivat $\pm 0,1$ m.

Tuloksista voidaan havaita, että oikealla nopeudella ajettaessa pohjavaijeri kulkee suhteellisen hyvin asetussyvyydellä. Päätypoiju kulkee jonkin verran muita poijuja ylempänä vetovaijerin ylöspäin vaikuttavasta voimasta johtuen. Pohjavaijerin kulkusyvyys vaijeri-haran päissä riippuu vetoköyden pituudesta. Mitä lyhyempi köysi on, sitä ylempänä kulkee pohjavaijeri.

Taulukossa 1 on esitetty haran vetovoiman pystykomponentin vaikutus päätypoijuun sekä sen viereiseen poijuun erilaisilla vetoköysipituuksilla. Vetovoiman suuruutena on käytetty 1,20 kN. Tämä vastaa maastossa suoritettujen mittausten mukaan myös todellista vetovoiman suuruutta (liite 12/9-16), kun haran pituus oli 350 m. Tulokset perustuvat teoreettisiin laskelmiin.

TAULUKKO 1 VETOKÖYDEN PITUUDEN VAIKUTUS POIJUN KORKEUSASEMAAN

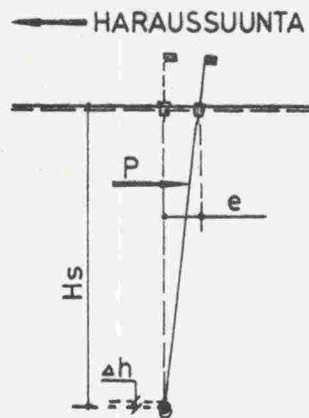
Haran syväytys- taso (m)	P o i j u j e n n o u s u (mm)					
	Päätypoiju			2. poiju päädyistä		
	Vetoköysien pituudet (m)					
	80	100	120	80	100	120
-10	159	130	110	20	17	14
-11	173	142	120	22	18	16
-12	187	154	130	25	20	17
-13	202	164	140	26	22	18

Tulosten perusteella voidaan vetoköyden pituutena käyttää 100-120 m. 11-13 m:n haraussyvyyksillä reunimmaisesta välin syvyys on tällöin keskimäärin n. 75 mm ja seuraavan välin n. 8 mm syvyystason yläpuolella.

Haran todelliseen kulkusyvyYTEEN vaikuttaa ratkaisevasti se, miten hyvin hara on syvytetty. Käytössä olevan syvytysohjeen mukaan on haraussyvyys lippuviitan kohon vesirajan ja pohjavaijerin kiinnityskohdan välinen etäisyys.

Tutkimustyön aikana kaikuluodin avulla tehtyjen havaintojen mukaan kulki lippuviitan koho 1,0-1,5 m haravaijerin takana ($H_s = 10,0$ m). Koska kohon uppouma oli sekä haran syvytysvaiheessa että ajon aikana likimain yhtä suuri (poijusta oli näkyvissä 20-30 mm), aiheuttaa lippuviittavaijerin kallistuminen ajon aikana pohjavaijerin syvyyden pienenemistä.

Laskennallisen tarkastelun mukaan aiheutuu haran liik-
keestä kohoan ja syvyytysvaijeriin n. 2,0 kp virtaus-
paine kun haran etenemisnopeus on 0,5 m/s. Tämä vastaa
tutkimuksen aikaista keskimääräistä harausnopeutta.
Nopeus vastaa vetoveneiden moottoreiden harauksessa
käytettäviä kierrosnopeuksia (esim. MV 11:11ä 670 r/min.
ja MV 6:11ä 1700 r/min.). Lippuviittavaijerin kallis-
tumisen aiheuttaa eri haraussyvyyksillä seuraavat poik-
keamat (e) ja haraussyvyyden pienenemiset (Δh).



KUVA 4 SYVYYTYSVAIJERIN KALLISTUMINEN

Haraussyvyyden pienenemiseen vaikuttaa oleellisesti
haran kulkunopeus. Kulkunopeuden kasvaessa lisääntyy
myös lippuviittavaijerin kallistuminen ja vastaavasti
haraussyvyys pienenee. Taulukossa 2` on laskennallisesti
tarkasteltu harausnopeuden vaikutusta haraussyvyyteen.
Haraussyvyyden pieneneminen on lisäksi esitetty graafi-
sesti kuvassa 5.

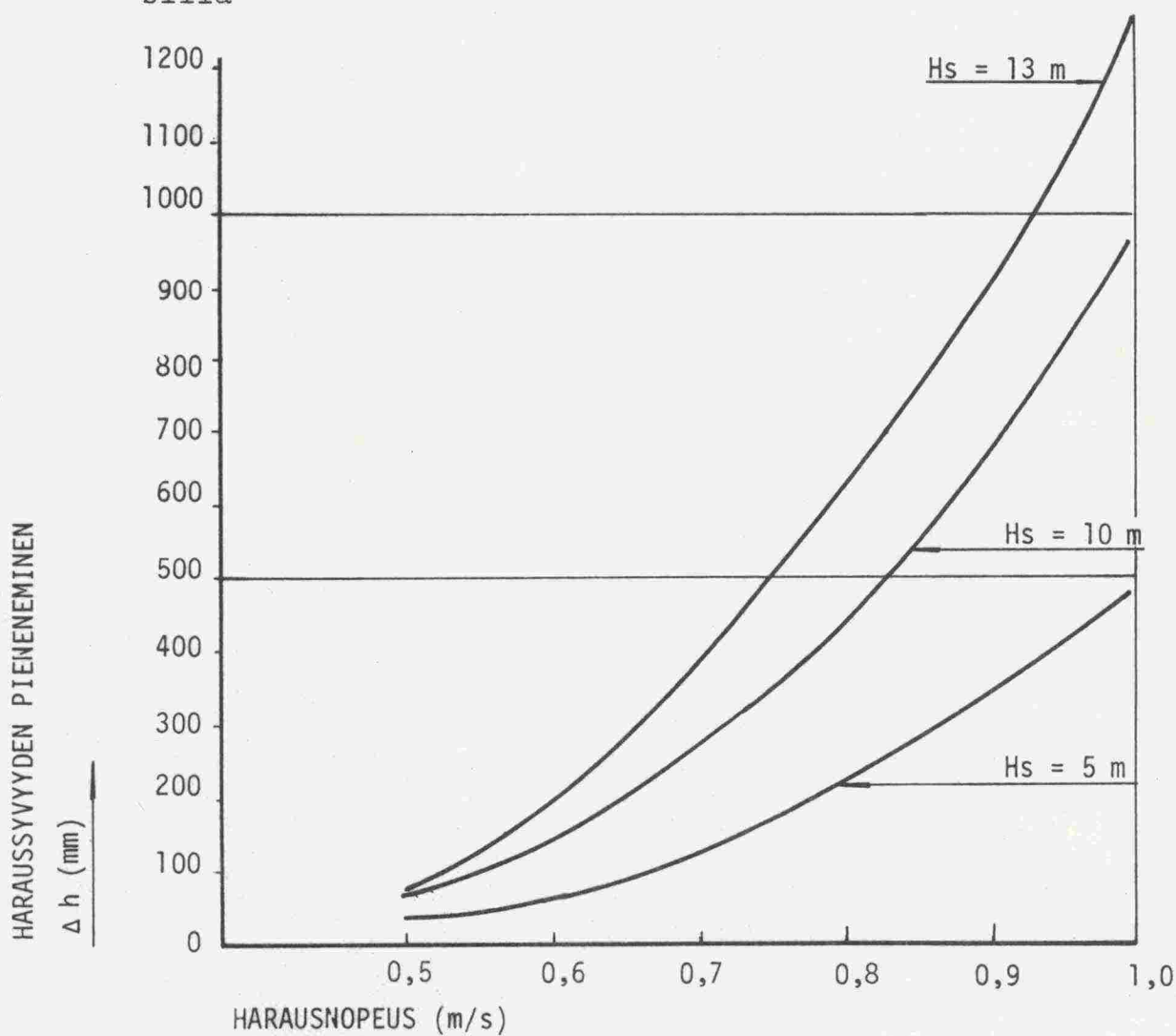
TAULUKKO 2

SYVYYTYSVAIJERIN KALLISTUMISEN AIHEUTTAMA SYVYYDEN PIENENEMINEN
ERI HARAUSYVYYKSILLÄ JA -NOPEUKSILLA

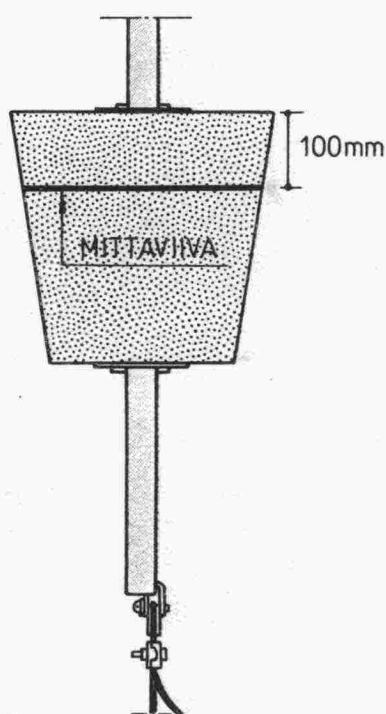
Haraus- syvyys Hs (m)	H a r a u s n o p e u s (m/s)							
	0,5		0,6		0,8		1,0	
	e (m)	Δh (mm)	e (m)	Δh (mm)	e (m)	Δh (mm)	e (m)	Δh (mm)
5	0,59	34	0,85	70	1,51	213	2,36	480
10	1,18	69	1,69	140	3,02	427	4,73	959
11	1,30	76	1,86	154	3,32	469	5,20	1055
12	1,42	83	2,03	168	3,62	512	5,67	1151
13	1,53	90	2,20	182	3,92	555	6,15	1247

KUVA 5

Syvyyden pieneneminen (Δh) eri harausyvyyksillä ja -nopeuksilla



Normaalia harausnopeutta (0,5 m/s) ajettaessa haraussyvyyttä pienentävien virtauspaineiden vaikutus voidaan korjata käyttämällä haran syvyytysmittana (H_s) pohjavaijerin kiinnityskohdan ja kohon piirretyn mittaviivan välistä matkaa. Nykyisillä poijuilla vaihtelee mittaviivan etäisyys kohon yläreunasta 80-110 mm:n välillä haraussyvyydestä riippuen. Tutkimuksen perusteella mittaviivan etäisyydeksi suositellaan 100 mm.



KUVA 6 EHDOTUS SYVYYTYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄN MITTAVIIVAN
PAIKAKSI

2.22

Haran käyttäytyminen pohjakosketuksen aikana

Yleistä

Haran pohjakosketus havaittiin joko lippuviittalinjassa tapahtuvana suunnanmuutoksena tai yksittäisen lippuviitan kallistumana.

Pohjakosketus havaittiin lippuviittarivissä selvästi silloin, kun hara kohtasi pohjaesteen, josta se ei päässyt

nousemaan yli. Tällaisia esteitä ovat yleensä jyrkät vedenalaiset rinnemuodostumat ja yksittäiset pystyseinä-mäiset kivet sekä lohkariekit. Pohjavaijerin kohdatessa tällaisen esteen se jäi siihen kiinni tai sen kulku hidastui huomattavasti. Hara antoi tällaisessa tapauksessa yleensä luotettavan tiedon vähänkin syvyytystason yläpuolelle kohoavasta esteestä. Pohjavaijerin tai pohjapainojen takertuminen esteeseen oli helppo havaita lippuviittalinjaan muodostuneesta kulmasta sekä lippuviittalinjan suoristumisesta.

Laakean, sileäpintaisen lohkariekin tai avokallion aiheuttama muutos lippuviitoissa oli vaikea havaita, sillä pohjavaijeri saattoi liukua takertelematta tällaisten pohjamuodostumien yli. Pohjakosketus voitiin havaita tällöin ainoastaan jos pohjavaijeri kohosi niin paljon, että törmäyskohdan viereiset lippuviitat kallistuivat selvästi. Maastotutkimusvaiheen lyhyiden vuoksi ei havaintojen tekeminen todellisten pohjamuodostumien avulla ollut mahdollista. Tämän vuoksi meren pohjaan rakennettiin laakea pohjaeste jäljittelemään todellista luonnonestettä. Este tehtiin rataakiskosta. Tämän ja pohjavaijerin välinen kitka on likimain sama kuin sileän kiven ja vaijerin välillä, Pohjavaijerin liikkeiden vaikutusta lippuviittoihin tutkittiin lisäksi kohdassa 2.12 esitetyillä tavoilla.

2.23

Maastotutkimuksen tulokset

Maastotutkimusten aikana keskityttiin lähinnä tekemään havaintoja sellaisista olosuhteista, jotka vastaavat haran kulkua sileäpintaisen pohjamuodostuman yli. Lippuviittojen väli oli aluksi vaijeriharauksessa yleisimmin käytetty 10 m. Tutkimuksen tulokset on esitetty liitteessä 4. Tulokset kuvastavat tilannetta, jossa este on osunut pohjavaijeriin lippuviittavälin keskiosalla. Tämä on

haran tarkkuuden kannalta epäedullisin tilanne. Pohjavaijeri voi tulosten mukaan nousta noin 1,0-1,1 m ennenkuin lippuviitan kallistuminen on havaittavissa. Selvästi havaittavana lippuviitan kaltevuuden muutoksena voidaan pitää n. 50^g joka on huomattavasti enemmän kuin suurimmat aaltojen ja tuulen aiheuttamat lippuviitan kallistuman muutokset. Lippuviitan kaatuminen (kaltevuus 100^g) edellytti noin 1,5 metrin nousua pohjavaijerin keskiosalla.

Lippuviitan kaltevuuden muutosta tutkittiin lisäksi edellä esitetyillä menetelmillä muuttamalla lippuviittojen väli 5 metriin. Liitteessä 5 on esitetty näin suoritettujen nostotutkimusten tuloksia. Tuloksista havaitaan, että lippuviittavälin muuttaminen 5 metriin lisää selvästi haran tarkkuutta. Lippuviittojen kaltevuuden muutokset syntyvät 0,4-0,6 m pienemmällä pohjavaijerin nousuilla kuin 10 m:n lippuviittaväliä käytettäessä.

Avomerialueen harauksissa (Hs 10-13 m) on 5 metrin lippuviittavälin käyttö suhteellisen vaikeaa, koska lähekkäin olevat lippuviittavaijerit sotkeutuvat helposti toisiinsa haraa laskettaessa. Lippuviittaväliä voitaneen kuitenkin pienentää suoritettaessa harauksia pienillä haraussyvyyksillä (Hs < 7 m) esim. järvi-alueilla ja saaristoväylillä.

Lippuviitan käyttäytymistä tutkittiin myös nostamalla pohjavaijeria lippuviitan kohdalla sekä normaalin työharauksen yhteydessä sattuneiden pohjakosketusten aikana. Tällöin mitattiin pohjaesteiden syvyys lippuviitan kohdalla kaikuluotainta käyttäen. Kaikki tutkimustulokset on esitetty liitteessä 6. Tuloksista todettakoon, että pohjavaijeri voi pohjapainon kohdalla nousta 0,3-0,4 m ennenkuin lippuviitan kallistuma on 50^g. Lippuviitan kaatuminen edellytti n. 0,6 metrin suuruista pohjavaijerin nousua.

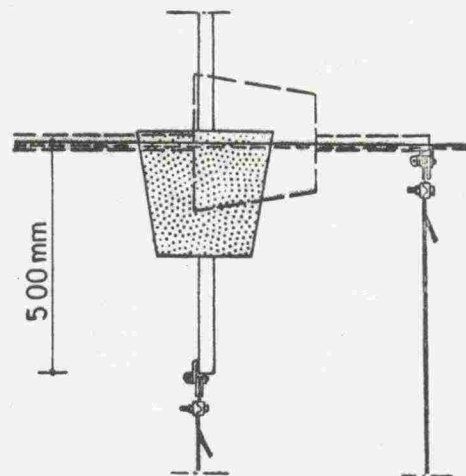
2.24

Laskennallinen tarkastelu

Laskennallisen tarkastelun mukaan lippuviitta kaatuu kokonaan, kun pohjapainon lippuviittaan aiheuttama normaalisti 15 kg:n vetovoima pienenee pohjakosketuksesta johtuen 10 kg. Tasapainoyhtälön avulla todetaan, että viitta on vaakasuorassa asennossa silloin, kun syvyytysvaijerissa vaikuttava voima on 5,1 kg.

Kun pohjakosketus tapahtuu lippuviitan kohdalla niin lippuviitan kaatumisen edellyttämä pohjavaijerin nousu muodostuu tällöin seuraavien osaliikkeiden summana:

1. Syvyytysvaijerin kiinnityskohdan nousu 0,5 m.
2. Syvyytysvaijerin kallistumisen aiheuttama pohjapainon nousu 0,2 m. Syvyytysvaijerin kallistuminen aiheutuu kallionpinnan ja pohjapainon välisestä kitkasta (liite 12 sivu 8).



KUVA 7 LIPPUVIITAN
KAATUMISEN AIHEUTTAMA
SYVYYTYSVAIJERIN NOUSU

Laskennallisesti saadaan täten lippuviitan kaatumiseen johtavan pohjavaijerin kiinnityskohdan nousun suuruudeksi 0,7 m. Tulos vastaa maastotyön aikana tehtyjä nostotutkimuksia, joissa nousun suuruudeksi saatiin noin 0,6 m.

Kun pohjakosketus tapahtuu pohjapainojen välisen alueen kekiosalla, on em. nousuun lisättävä pohjavaijerin pystyliike. Pohjavaijerin nousun on oltava 0,6 m, jotta lippuviitan kaatumisen edellyttämä keveneminen on 10 kg

(liite 12, sivu 7). Pohjavaijerin pystyliike aiheuttaa lisäksi pohjapainojen välisen etäisyyden pienenemisen. Etäisyyden pieneneminen lisää lippuviitan kaatumiseen tarvittavan pohjavaijerin pystyliikkeen suuruutta noin 0,4 m.

Laskennallisen selvityksen lopputuloksena voidaan todeta, että pohjaesteen sijaitessa pohjapainojen välisellä alueella ovat lippuviitan kaatumiseen tarvittavat lippuviitan ja pohjavaijerin yhteenlasketut liikkeet epäedullisimmassa tapauksessa noin 1,7 m:n suuruisia. Laskennallinen tulos on sopusoinnussa maastotutkimusten aikana havaittujen tulosten kanssa, joiden mukaan lippuviitan kaatumiseen tarvittavan nousun suuruus vaihteli 1,5-1,8 m:n välillä.

2.25

Putkihara

Alustavien tutkimusten mukaan paranee vaijeriharan tarkkuus merkittävästi, kun taipuisa pohjavaijeri korvataan jäykällä putkella. Tutkimuksessa korvattiin pohjavaijeri rautaputkella, jonka ulkohalkaisija oli 40 mm, seinäpaksuus 2 mm ja pituus 6 m.

Tutkimusten mukaan putki voi nousta noin 0,4 m ennenkuin lippuviitan kallistuma on 50°. Pohjakosketuskohta on tällöin putken keskiosalla. Lippuviitan kaatuminen edellyttää 0,6-0,8 metrin suuruista nousua. Tutkimustulokset on esitetty liitteessä n:o 7.

Tutkimustyön aikana putkiharaa käytettäessä oli vaikeutena putkien vääntyminen pohjakosketuksen yhteydessä. Putkiharan lasku ja nosto oli lisäksi hankalaa ja raskasta, koska se jouduttiin suorittamaan käsin kahdesta vierekkäin olevasta veneestä.

2.26

Haran vetovoiman vaikutus tarkkuuteen

Vaijeriharan tarkkuustutkimuksen yhteydessä tutkittiin lisäksi erilaisten vetojännitysten vaikutusta haran tarkkuuteen. Tutkimuksen aikana muutettiin vetoveneiden vetokulmaa etenemissuuntaan nähden. Täten aiheutettiin pohjavaijeriin erilaisia vetojännityksiä. Vetovoiman suuruuden vaihtelut mitattiin jousivaa'alla.

Vaijeriharan pituus oli tutkimuksessa 130 m ja lippuviittojen väli 10 m. Tutkimus suoritettiin pohjavaijerin ollessa lähes ilman jännitystä sekä 0,7 kN, 0,85 kN ja 1,1-1,2 kN vetojännityksiä käyttäen. Veneiden vetokulmat etenemissuuntaan nähden vaihtelivat vastaavasti 40-50^g välillä.

TAULUKKO 3 LIPPUVIITAN KALTEVUUDEN MUUTOS VETOVOIMAN SUHTEEN

Lippuviitan kaltevuuden muutos (g)	Pohjavaijerin nousukorkeus (cm)			
	vetovoima kN /vetokulma ^g			
	n. 0	0,7/40	0,85/45	1,1-1,2/50
30	180	70	60	50
50	240	105	95	80
100		160	150	130

Tutkimuksen tulokset on esitetty graafisesti liitteessä 8. Tuloksista havaitaan haran pohjavaijerin vetojännityksen vaikuttavan oleellisesti haran tarkkuuteen. Haran kulkiessa hitaasti 0,1-0,2 m/s ja pohjavaijerin ollessa löysällä on haran tarkkuus erittäin huono. Pohjavaijerin nousu aiheuttaa tällöin vain vähäistä lippuviittojen kallistumista ja kosketuskohtaa lähinnä olevat lippuviitat pyrkivät lähestymään toisiaan.

Vetovoiman lisääminen normaalista 0,7 kN:sta 1,1-1,2 kN:iin edellyttää vetoveneiden kierrosnopeuksien nostamista 100-150 r/min. Vetojännityksen suuruutta em. tavalla lisättäessä ei haran kulkunopeus saa kasvaa vaan haran nopeus on pyrittävä pitämään normaalina (0,5 m/s). Vastaavasti veneiden vetokulma tulee muuttaa 40^g:sta 50^g:een.

Liitteessä 9 on esitetty tutkimustyössä käytettyjen vetoveneiden vetovoimien suuruudet moottorin kierrosnopeuksien suhteen. Taulukon arvojen avulla voidaan vetoveneiden kierrosnopeus säätää siten, että molemmat veneet vetävät haraa saman suuruisella voimalla.

Suoritettujen jännitysmittausten perusteella voidaan todeta haran tarkkuuden parantuvan pohjavaijerin jännityksen kasvaessa 0,7 kN:sta 1,1-1,2 kN:iin noin 25 cm, kun tarkastellaan lippuviitan 50^g:n kallistumaa. Pohjavaijerin jännitystä tulisi lisätä moottoreiden normaaleja kierrosnopeuksia suurentamalla. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon, että veneiden vetokulmaa on myös suurennettava ja haran nopeus pidettävä noin 0,5 m/s.

Laskennallisen tarkastelun mukaan pohjavaijerissa vaikuttavan vetovoiman suuruus vaihtelee haran eri osissa. Vetovoima pienenee haran keskiosaa lähestyttäessä ja on pienimmillään haran keskimmaisessa kenttävälissä. Reunimmaisessa kentässä on pohjavaijerin jännitys likimain vetovoiman suuruinen.

Pohjavaijerin jännitys voidaan laskea kaavasta:

$$P = N \times \sin \alpha$$

P = pohjavaijerin jännitys keskikentässä

N = vetovoima

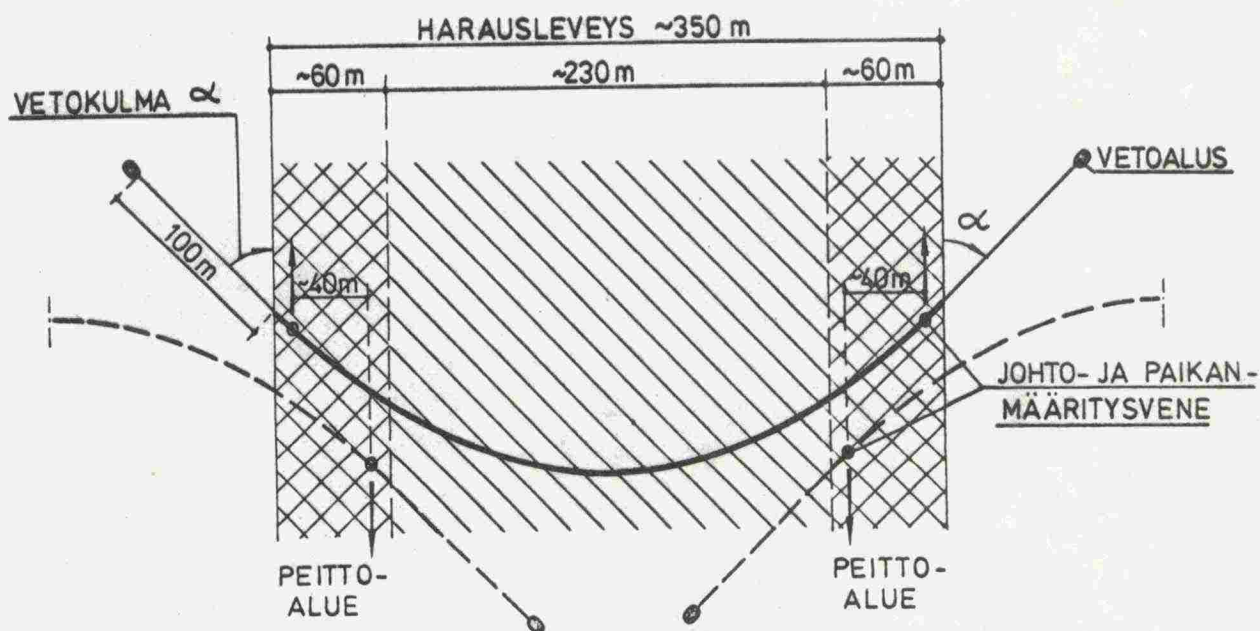
α = vetokulma (ks. kuva 8).

Kaavan perusteella havaitaan, että haran kulkiessa vakionopeudella pohjavaijerin jännitys lisääntyy vetokulman muuttuessa suuremmaksi. Jännityksen suurentaminen lisää toisaalta myös haran tarkkuutta.

2.27

Harauksen peittävyys

Vaijeriharauksen peittävyys riippuu käytettävän ohjauksen tarkkuuden lisäksi lähinnä tuuli- ja virtausolosuhteista. Varsinkin aluksesta vaikeasti havaittavat pohjavirtaukset saattavat huomaamatta aiheuttaa haran siirtymistä poispäin ajolinjalta. Vierekkäiset ajolinjat pyritään tästä johtuen ajamaan osittain päällekkäin. Peittoalueen leveytenä käytetään nykyisten ohjeiden mukaan n. 60 m, mikä saadaan vierekkäisten halssien paikanmäärittyslinjojen välin ollessa 40 m.



KUVA 8 VAIJERIHARAN HARAUSLEVEYDEN JA PEITTOALUEEN SUURUDET

Käytetty peittoalue on suhteellisen pieni ja edellyttää haran pysymistä hyvin ohjauslinjallaan. Halssien väliin pyrkii helposti jäämään aukkoja, jolloin haraus ei ole peittävä. Jos vierekkäisten halssien poikkeamat teoreettisesta ohjauslinjasta sattuvat samalle kohdalle ja ovat eri suuntaisia, ei poikkeama saa ylittää 30 m, jotta vältetään aukkojen jääminen halssien väliin.

Kihdin väylällä suoritettun vaijeriharauksen karttapiirroksesta (liite 10) havaitaan, että oikean etenemissuunnan säilyttäminen on ollut hyvin vaikeaa. Esim. halsseilla I ja II on peittoalueen leveys ajolinjan alkuosalla 140 m, mutta linjan loppuosalla halssit erkanevat toisistaan ja syntyneen aukon leveys on suurimmillaan noin 90 m. Haran vaikeata ohjattavuutta kuvastaa sekin, että kaikkien ajolinjojen väliin on jäänyt yksi aukkopaikka.

Tulosten perusteella selviää, että vaijerihara on varsin vaikea pitää halutulla ohjauslinjalla ja työ edellyttää kokenutta mittauspäällikköä. Harauksen onnistumiseen vaikuttaa ratkaisevasti myös valitun peittoalueen leveys. Vastaisuudessa tulisikin harauksen peittoaluetta suurentaa, varsinkin 300-400 m leveitä haroja käytettäessä. Vierekkäisten halssien paikanmäärittämislinjojen välin suurentaminen 40 metristä 80 metriin muuttaisi peittoalueen kokonaisleveyden 100 metriin ja vähentäisi todennäköisesti huomattavasti aukkojen määrää. Esim. liitteen 10 harauksessa ei halssien väliin olisi em. arvoja käyttäen jäänyt lainkaan aukkoja. Lyhyillä, helpommin ohjattavilla haroilla ($L = 100-200$ m) voitaneen vierekkäisten halssien paikanmäärittämislinjojen välinä edelleen käyttää 40 m.

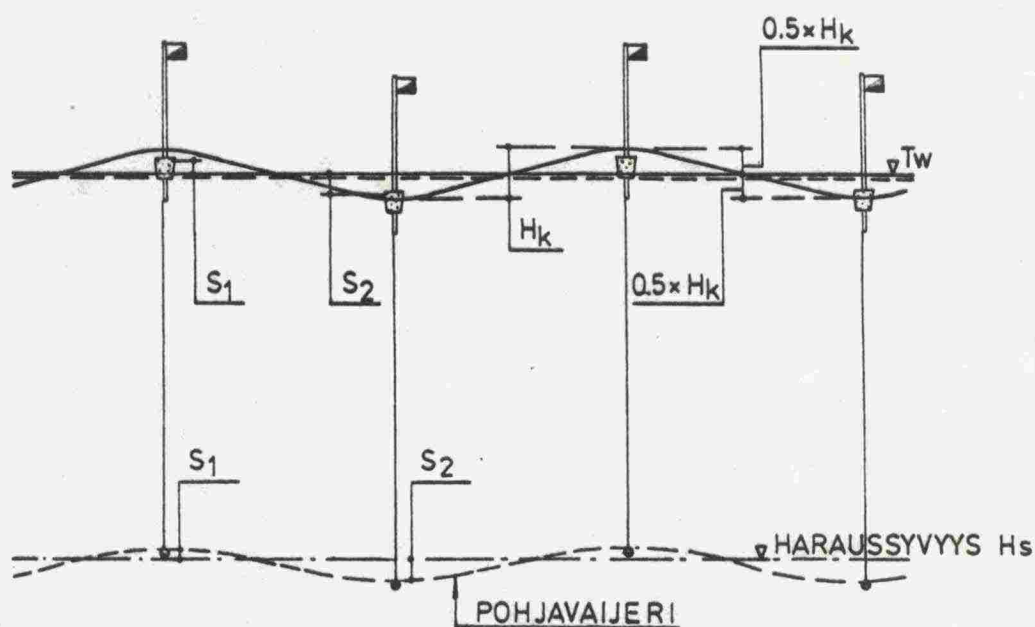
2.28

Sääsuhteiden vaikutus haraan

Sääsuhteiden osalta selvitettiin lähinnä aaltojen ja tuulen vaikutusta haraan. Tuulen osalta selvitettiin sen nopeuden ja suunnan aiheuttamia muutoksia lippuviitan asentoon. Koska pohjavaijerin liikkeet, ainakin pohjapainon kohdalla, ovat

likimain saman suuruisia lippuviitan pystysuuntaisten liik-
keiden kanssa, pyrittiin selvittämään aaltojen vaikutusta
pohjavaijeriin mittaamalla lippuviitan kohon liikettä eri
korkuisissa aallokossa. Kohon korkeustaso aaltojen korkeim-
man ja matalimman vaiheen aikana mitattiin valokuvista.
Lisäksi selvitettiin veden korkeustason vaihteluiden vai-
kutusta haraustarkkuuteen.

Merialueella, syvissä vesissä harausta suoritettaessa on
tyynen veden pinta (T_w) likimain mitatun aaltoliikkeen
puolivälissä. Koska haran syvyytys suoritetaan tyynessä
vedessä, ilmaisevat kohon korkeusvaihtelut suoraan myös
pohjavaijerin liikkeit.



KUVA 9 AALTOJEN VAIKUTUS VAIJERIHARAAN

Tutkimusaikaiset sääolosuhteet vaihtelivat hyvin voimakkaasti. Huonoimpien säiden aikana ei merellä voitu suorittaa edes koeharauksia.

Taulukossa 4 esitetyt tulokset edustavat pääosin sellaisia sääolosuhteita, joissa haraustyötä yleensä voidaan tehdä. Taulukossa alimmaisena olevat sääolosuhteet olivat kuitenkin niin huonot, että varsinaista työharausta ei koskaan sallittu mittauspäällikön ilmoituksen mukaan koskaan suoriteta. Haraus tehtiinkin yksinomaan tutkimustyön takia.

TAULUKKO 4 ERILAISTEN AALTOJEN VAIKUTUS POHJAVAIJERIN LIIKKEISIIN

SÄÄOLOSUHTEET				POHJAVAIJERIN POIKKEAMA S HARAUSSYVYYDESTÄ H _s	
H _k [mm]	H _m [mm]	L [m]	TUULI [m/s]	POIKKEAMA H _s :stä YLÖSPÄIN S ₁	POIKKEAMA H _s :stä ALASPÄIN S ₂
100	140	6	1,0	50	50
148	212	3	8	49	54
150	—	5	1,5	55	65
155	217	3	5	52	49
160	230	3	7,5	57	50
188	269	2-2,5	6,5-7,5	65	84
210	290	5	4,7	~ 50	85
500	—	10-15	5,2	120	240
H _k = AALLON KESKIKORKEUS H _m = AALLON MERKITSEVÄ KORKEUS L = AALLON PITUUS					

Tuloksista voidaan havaita, että pienillä aallon keskikorkeuksilla (100-160 mm) pohjavaijerin pystyliike on likimain puolet aallon keskimääräisestä korkeudesta. Koho siis nousee ja laskee yhtä paljon syvyytystason suhteen. Aallon keskikorkeuden kasvaessa yli 160 mm alkaa kohota aallon harjoilla ja vastaa- vasti paljastua yhä enemmän aaltojen pohjilla.

Tutkimuksen mukaan voidaan harausta suorittaa vielä, kun aallon keskikorkeus (Hk) on noin 200 mm ja aallon merkitsevä korkeus (Hm) noin 300 mm. Tällöin aiheutuu pohjavaijeriin haraustasosta (Hs) ylöspäin 50-70 mm:n liike ja haraustasosta alaspäin 50...90 mm:n liike. Tuloksista havaitaan, että pohjavaijerin liikkeet haraustasosta ylöspäin ovat myös jossain määrin vähäisempiä kuin haraustasosta alaspäin. Haraustasosta ylöspäin suuntautuvat liikkeet ovat kuitenkin harauksen tarkkuuden kannalta huomattavasti pahempia kuin päinvastaiset liikkeet.

Tulosten mukaan vaijeriharaa voidaan käyttää syvyytystasoa muuttamatta aallon keskikorkeuden (Hk) ollessa n. 200 mm. Vaijeriharaa voidaan käyttää suuremmissakin aallokoissa, tällöin on kuitenkin aaltojen aiheuttama pohjavaijerin nousu otettava huomioon ylisyvytyksenä jo haran laskuvaiheessa.

Pääasiassa sääolosuhteista johtuvana haran korkeustasoon vaikuttavana tekijänä on myös otettava huomioon vedenkorkeuden muutokset. Päivittäinen vedenkorkeus keskiveteen verrattuna saattaa hyvien luotausilmojen vallitessa vaihdella jopa ± 150 mm:n välillä. Koska vaijeriharan syvyytystason korjaus nykyisin vaatii runsaasti aikaa (n. 2-3 h) ja sitä ei päivittäin muuteta, on korjaus otettava huomioon jo syvyytyksen yhteydessä riittävänä ylisyvytyksenä.

Vaijeriharausta suoritettaessa on tärkeää välttää turhaa ylisyvytystä. Veden korkeustason muutoksia tulee tarkkailla 2...3 kertaa päivässä ja tarvittaessa muutettava syväytystä. Suoritetun tarkkuustutkimuksen yhteydessä on syvyytysvaijerin yläpäähän tehty rakennemuutoksia, jotka mahdollistavat haraussyvyiden muuttamisen haran ollessa vedessä harausasennossa. Lippuviitta on kiinnitetty iskuhaalla syvyytysvaijerin yläpäähän kiinnitettyyn kettinkiin. Tätä kiinnityskohtaa voidaan tarvittaessa helposti ja nopeasti muuttaa.

Tutkimuksen yhteydessä selvitettiin työalueella veneistä käsin suoritettuun syvyytystason muuttamiseen 5,90 m:stä 6,40 m:iin käytetty aika. Tällöin syvyytysvaijerin yläpäässä oli osalla haraa edellä esitetty uusi kiinnitys ja osalla haraa tavanomainen vaijerilukko. Uutta kiinnitystä käytettäessä kesti yhden lippuviitan syvyyden muuttaminen 25-55 sek. Keskimäärin muutos aika oli 40 sek. Vaijerilukkoja käyttäen olivat vastaavat ajat 3-4 min. yhtä lippuviittaa kohden ja keskimääräinen kiinnitysaika oli 3 min. 40 sek. Ajansäästö olisi täten normaalisti käytetyssä 300-400 m pituisessa harassa 1,5-2,0 h. Lisäksi on todettava, että ketjua ja iskuhakaa käyttäen syvyytystason muuttaminen työalueella on mahdollista. Sen sijaan nykyisten vaijerilukkojen avaaminen ja sulkeminen on siinä määrin vaikeaa, että sitä ei työmaalla käytännössä voida suorittaa.

Tuulen nopeuden ja suunnan vaikutusta lippuviittojen kaltevuuksiin tutkittiin valokuvista mittaamalla. Tuloksista (liite 11) havaitaan, että kelvollisissa harausolosuhteissa ovat suurimmat mitatut lippuviitan kallistumat noin 20° keskimääräisten kaltevuuksien vaihdellessa 2 - 12°:n välillä.

Tuulen vaikutus lippuviittoihin ei yleensä ole haran tarkkuuden kannalta merkittävä. Kuitenkin tuulisessa säässä harattaessa on lippuviittojen liikkeitä tarkkailtava erityisen huolellisesti, jotta mahdollisen pohjaestein aiheuttama muutos lippuviitan liikkeisiin havaitaan.

3

YHTEENVETO

Vaijeriharan tarkkuus riippuu pohjavaijerin teoreettisen syvyytystason ja todellisen kulkusyvyyden erosta sekä pohjaesteiden lippuviittalinjaan tai yksittäiseen lippuviittaan aiheuttamien muutosten havaittavuudesta.

Tutkimusten mukaan pohjavaijeri kulkee hyvin halutulla syvyydellä mikäli syvyytys on suoritettu oikein. Sen sijaan pohjakosketuksen havaittavuus riippuu pääasiassa syvyytystason (Hs) yläpuolelle ulottuvan matalan muodosta.

Kun matala on jyrkkämuotoinen, pohjakosketus ilmenee haravaijerin etenemisen selvänä hidastumisena tai eteneminen pysähtyy kokonaan pohjavaijerin jäädessä matalaan kiinni. Vaijeriharan tarkkuus riippuu tällöin lähinnä siitä, miten aaltoilun ja vedenkorkeuden vaihtelut on otettu huomioon haraa syvyytettäessä.

Mikäli matala on muodoltaan laakea ja suhteellisen sileäpintainen, ei haran etenemisessä tapahdu havaittavaa hidastumista pohjakosketuksen aikana vaan hara liukuu muotonsa ja nopeutensa säilyttäen matalan yli. Tällöin haran ilmaisykyky riippuu lähinnä lippuviitan kallistuman havaittavuudesta.

Lippuviitan kallistumisen suuruus riippuu matalan korkeuserosta pohjavaijerin kulkusyvyyteen nähden sekä esteen kosketuskohdasta pohjavaijerissa. Kosketuskohdan sijaitessa pohjapainojen välisen alueen keskiosalla, välittyy pohjakosketuksen aiheuttama liike huonoimmin lippuviittaan ja vastaa-
vasti mitä lähempänä kosketuskohta on pohjapainoa sitä herkemmin aiheuttaa pohjavaijerin liike lippuviitan kallistumista. Pohjakosketuksen tapahtuessa pohjapainon kohdalla on matalan nostettava pohjavaijeria 0,3-0,8 m, jotta lippuviitan kallistuminen voidaan havaita selvästi.

Pohjakosketuksen tapahtuessa pohjapainojen välisen alueen keskiosalla on lippuviittoja havaittavasti kallistavan pohjavaijerin nousun oltava 1,0-1,7 m kun lippuviittaväli on 10 m. Haran tarkkuus lisääntyy oleellisesti lippuviittaväliä pienennettäessä. Lippuviittavälin ollessa 5 m ja pohjakosketuksen tapahtuessa keskikentässä, on vastaavan pohjavaijerin nousun oltava 0,6-1,1 m.

Vaijeriharan tarkkuutta voidaan vielä lisätä korvaamalla pohjavaijeri jäykällä putkella. Alustavien tutkimusten mukaan tällaisen putkiharan avulla voidaan luotettavasti havaita 0,4-0,8 m haraustason yläpuolelle kohoava loivapiirteinenkin matala.

Tutkimuksen mukaan vaijerihara ja putkihara ovat tehokkaita ja suhteellisen helppokäyttöisiä harausvälineitä. Vaijeriharan ylisyytytyksen suuruutena tulee käyttää 10 m:n lippuviittavälillä vähintään 1,0 m. Käytettäessä 5 m:n lippuviittaväliä tulee ylisyytytyksen olla 0,6 m ja putkiharaa käytettäessä alustavien tutkimusten mukaan 0,4 m. Putkiharan käyttökelpoisuutta tulee kehittää mm. haran lasku- ja nostovaiheen sekä sopivien putkimateriaalien osalta.

Vedenkorkeuden muutokset on em. ylisyytyksiä käytettäessä otettava huomioon 2-3 kertaa päivässä.

4

SUOSITUKSET

4.1

Haratyypit

Vaijeriharat jaetaan pituutensa ja käyttösyvyytensä suhteen haratyyppeihin seuraavasti:

SYVÄ VAIJERIHARA

Haran pituus on 200-400 m ja haraussyvyys on yli 7,0 m. Lippuviittojen väli on 10 m. Haraa käytetään laajoilla merialueilla yleensä ns. varmistusharauksessa.

MATALA VAIJERIHARA

Haran pituus on pienempi kuin 200 m ja haraussyvyys on alle 7,0 m. Lippuviittojen väli on 5 m. Haraa käytetään merialueilla kapeiden rannikko- ja pienveneväylien harauksessa sekä sisävesialueilla.

4.2

Rakenteelliset muutokset

Harauskalustoon tulee tehdä seuraavat tutkimuksen yhteydessä kehitetyt tarkkuutta lisäävät rakennemuutokset:

1. Lippuviitan kohon alapuolelle tulevan putken pituus lyhennetään 20 cm:iin (liite 1)
2. Pohjavaijeri kiinnitetään pohjapainon yläpuolelle (liite 2)
3. Lippuviitan kiinnitys syvyytysvaijeriin muutetaan ketjuun liittyväksi iskuhakakiinnitykseksi
4. Vetoköyden pituuden tulee olla vähintään 100 m. Lisäksi tulee pohjavaijerin kestävyyttä lisätä suurentamalla sitä Ø 6 mm:iin. Tällöin se kestää paremmin haran vetovoiman lisäämisen.

4.3

Harausnopeus

Harausnopeuden tulee mahdollisimman tarkoin olla 1,0 solmu (0,5 m/s). Suurempaa nopeutta ei saa käyttää, koska haraussyvyys pienenee oleellisesti harausnopeuden kasvaessa.

4.4

Ylisyyvytykset

Sen jälkeen kun em. rakennemuutokset on tehty, voidaan ottaa käyttöön seuraavat ylisyyvytyksen arvot:

	m
SYVÄ VAIJERIHARA	1,0
MATALA VAIJERIHARA	0,6

4.5

SääolosuhteetAallot

Tutkimusalueelle sijoitetaan aallonkorkeusmittari. Aallonkorkeusmittari tehdään esim. maalaamalla mittausretkikuntien käyttämien kiviviittojen puiseen varsiosaan mittausmerkit 10 cm:n välein. Keskimääräinen aallon korkeus saadaan mittaamalla 50 peräkkäisen aallon korkeus (= aallon huipun ja pohjan väli) ja laskemalla niiden keskiarvo. Harausta voidaan suorittaa asetustasoa muuttamatta keskimääräisen aallon korkeuden ollessa pienempi kuin 200 mm. Tätä suuremmilla aallon korkeuksilla asetussyvyttä on lisättävä likimain puolella aallon korkeuksien keskiarvosta (Hk). Harausta ei kuitenkaan suoriteta aaltojen keskimääräisen korkeuden ollessa yli 400 mm.

Veden korkeustaso

Haroilla käytettävät ylisyyvytykset edellyttävät jatkuvia havaintoja vedenkorkeuden vaihtelusta. Vedenkorkeudet havaitaan vähintään 3 kertaa päivässä, esim. klo 7.00, 10.00 ja 14.00.

Jos vedenkorkeuden muutos on yli 100 mm, muutetaan haran asetussyvyys. Haran asetussyvyys on muutettava aina välittömästi kun se ylittää em. arvon, koska korjausta ei voi tehdä haraustuloksiin jälkeenpäin.

Tuuli

Tuulen aiheuttamat lippuviittojen kallistumat ovat suurimmillaan noin 20^g. Tuulisessa säässä lippuviittojen liikkeitä on havaittava erityisen huolellisesti, jotta pohjakosketuksen aiheuttama muutos lippuviittojen liikkeissä havaitaan.

4.6

Peittävyys

Syvää vaijeriharaa käytettäessä tulee vierekkäisten halssien paikanmäärityslinjojen välin olla 80 m ja matalaa vaijeriharaa käytettäessä 40 m.

4.7

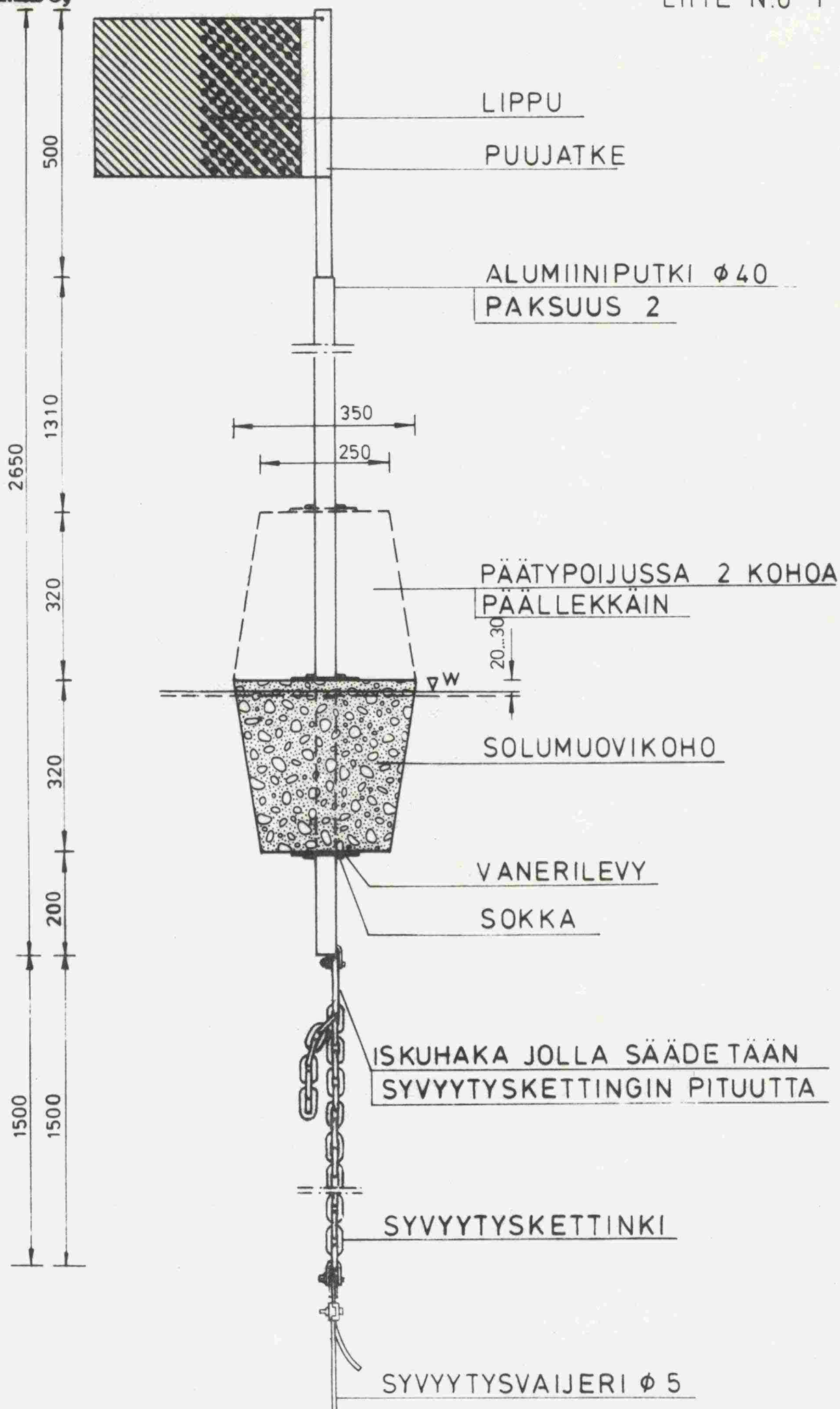
Työskentelytavat

Vaijerihara soveltuu käytettäväksi varmistusharauksessa alueilla, joissa pohjakosketuksia yleensä on vähän.

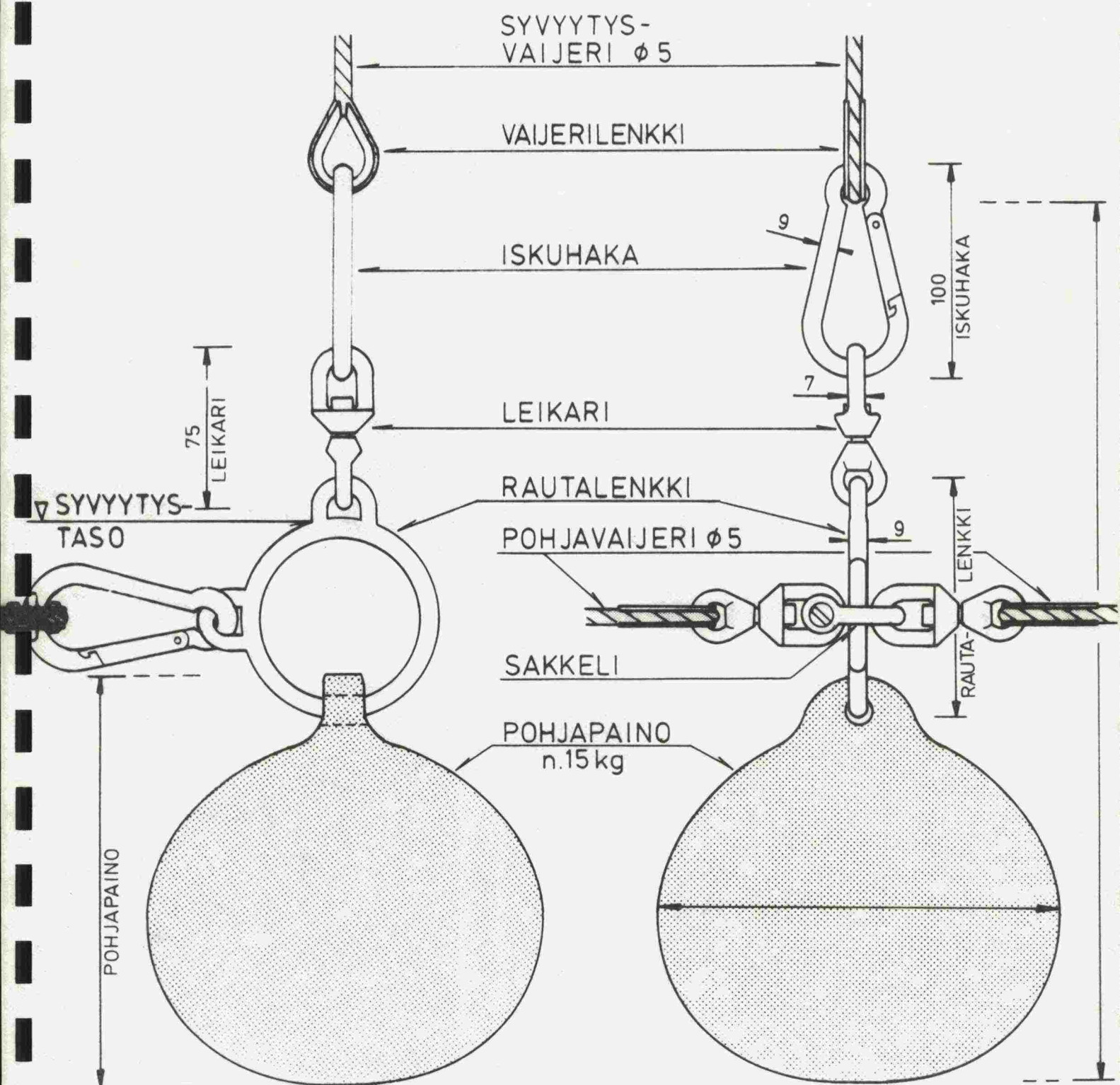
Haran paikanmääritys suoritetaan reunoilta lukien toisen lippuviitan kohdalta kahta kvintanttia käyttäen taaksepäinleikkauksena. Havaitut kulma-arvot tulisi käsitellä laskennallisesti ja vähitellen pyrkiä eroon kulma-asettimen käytöstä.

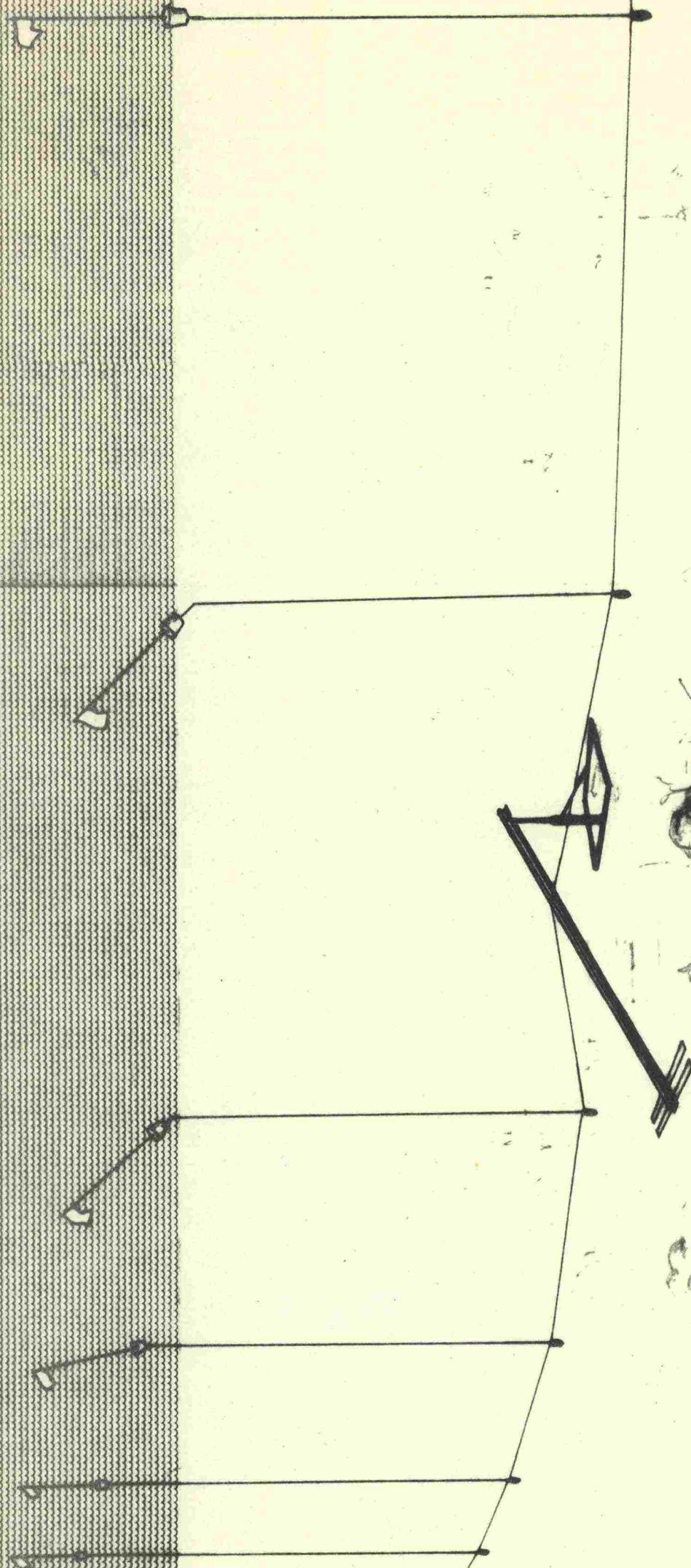
Veneiden vetokulmana etenemissuuntaan nähden tulee käyttää 50^g.

Jotta harausvaijeriin kohdistuvaa vetovoimaa voitaisiin tarkkailla, tulee selvittää harauksessa käytettävien veneiden vetovoiman ja moottorin kierrosnopeuden välinen riippuvuus. Veneiden vetovoimana suositellaan käytettäväksi noin 1,2 kN (120 kp) voimaa.



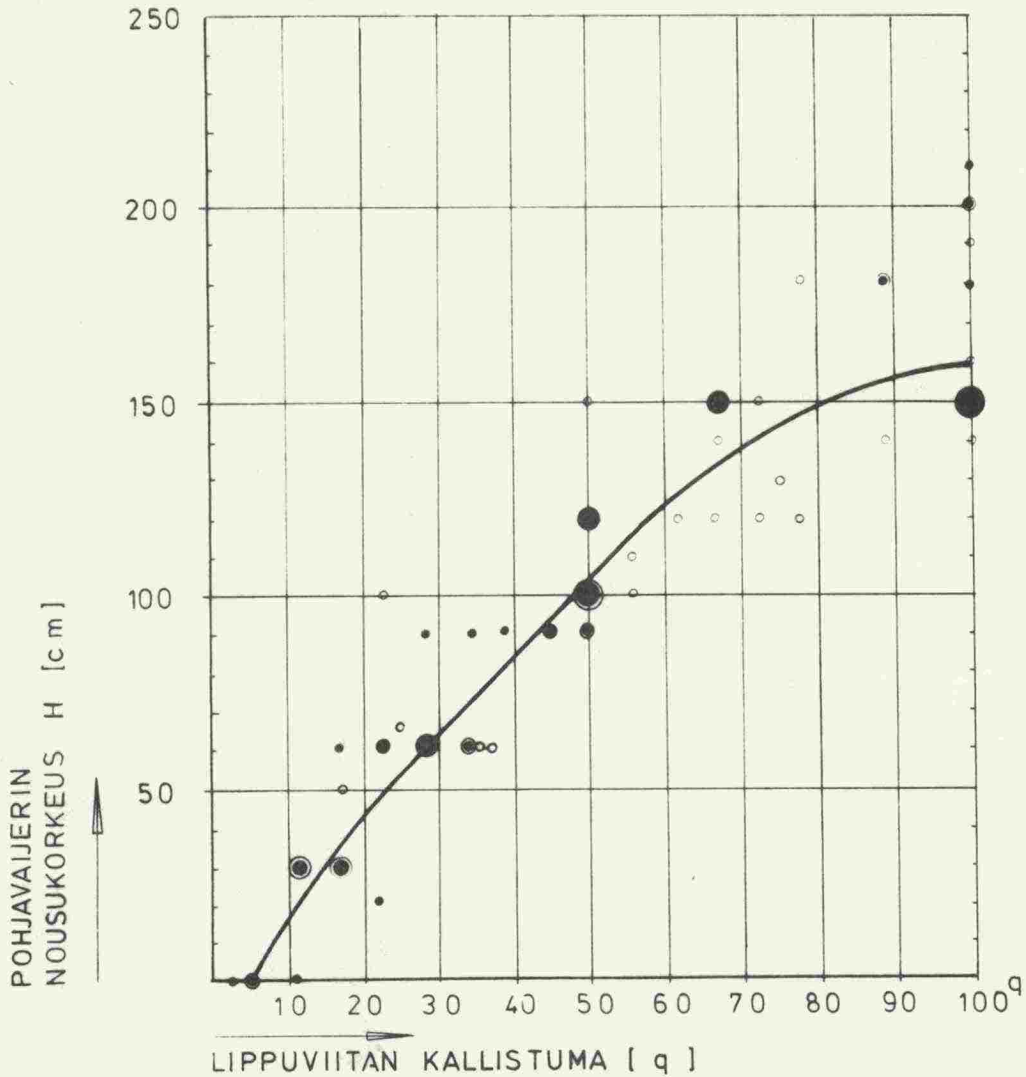
VAIJERIHARAN LIPPUVIITTA 1:10 (MITAT mm:NA)



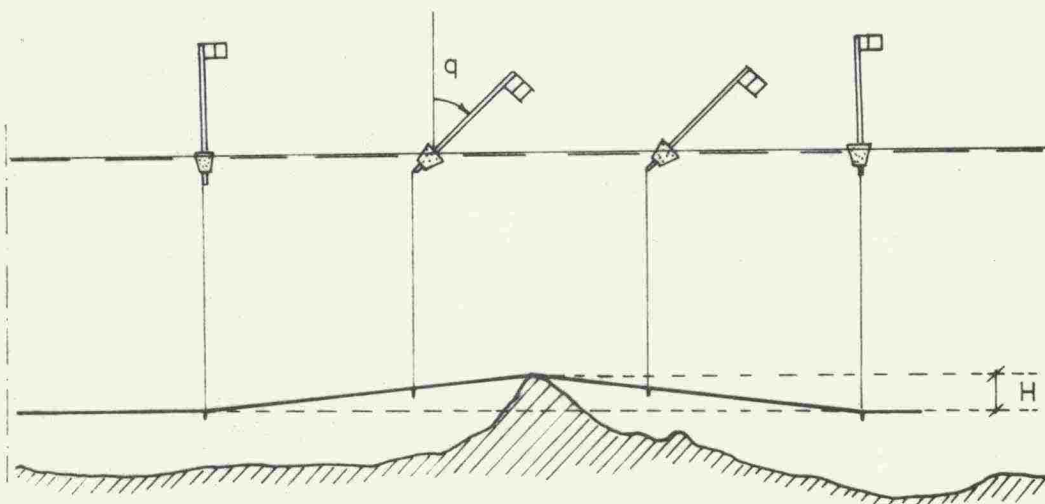


LIPPUVIITAN KALTEVUUDEN JA POHJAVAIJERIN NOUSUN VÄLINEN RIIPPUVUUS

NOSTO TAI TÖRMÄYSKOHTA 10 m:n LIPPUVIITTAVALIN KESKIKOHDASSA

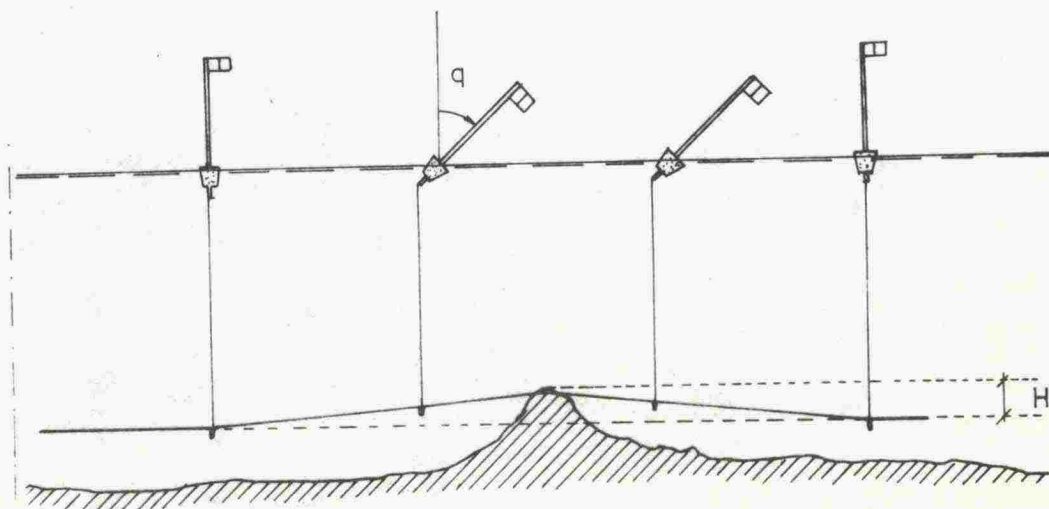
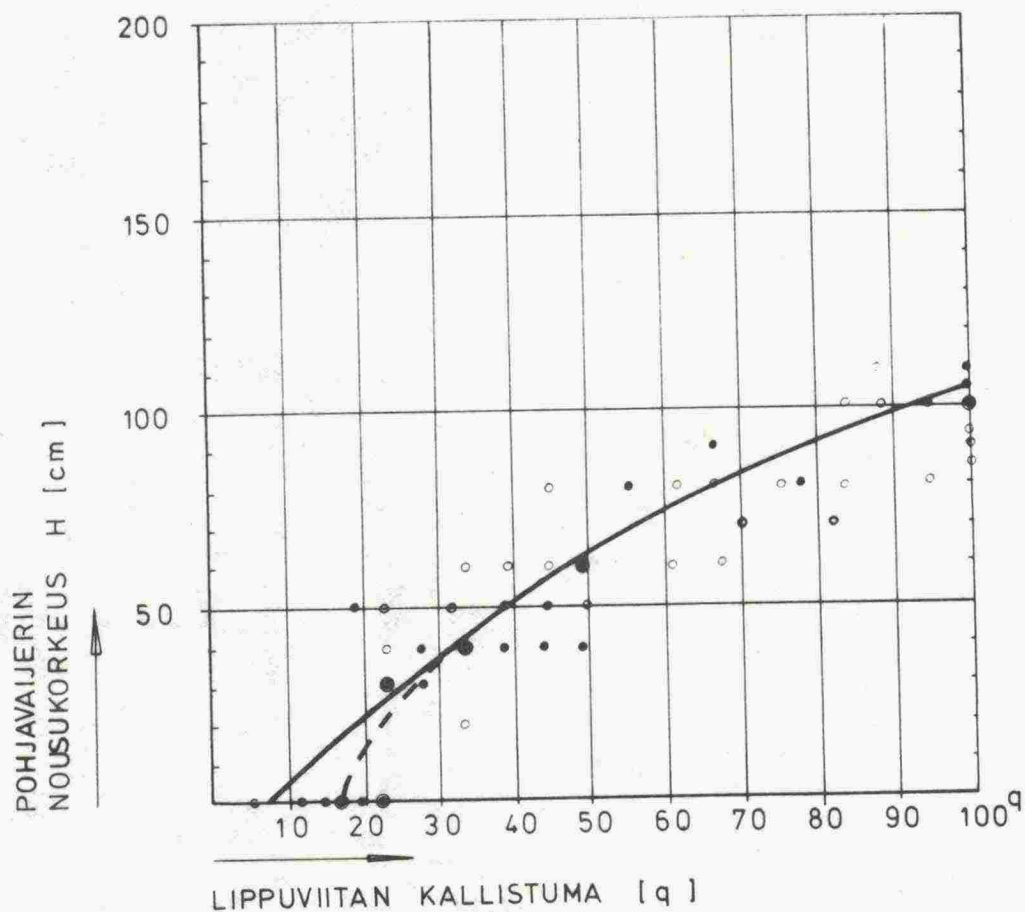


- | | |
|-----------------|-----------------|
| ○ = 1 HAVAINTO | ⊙ = 5 HAVAINTOA |
| • = 2 HAVAINTOA | ● = 6 " |
| ◐ = 3 " | ◑ = 7 " |
| ◒ = 4 " | ◓ = 8 " |



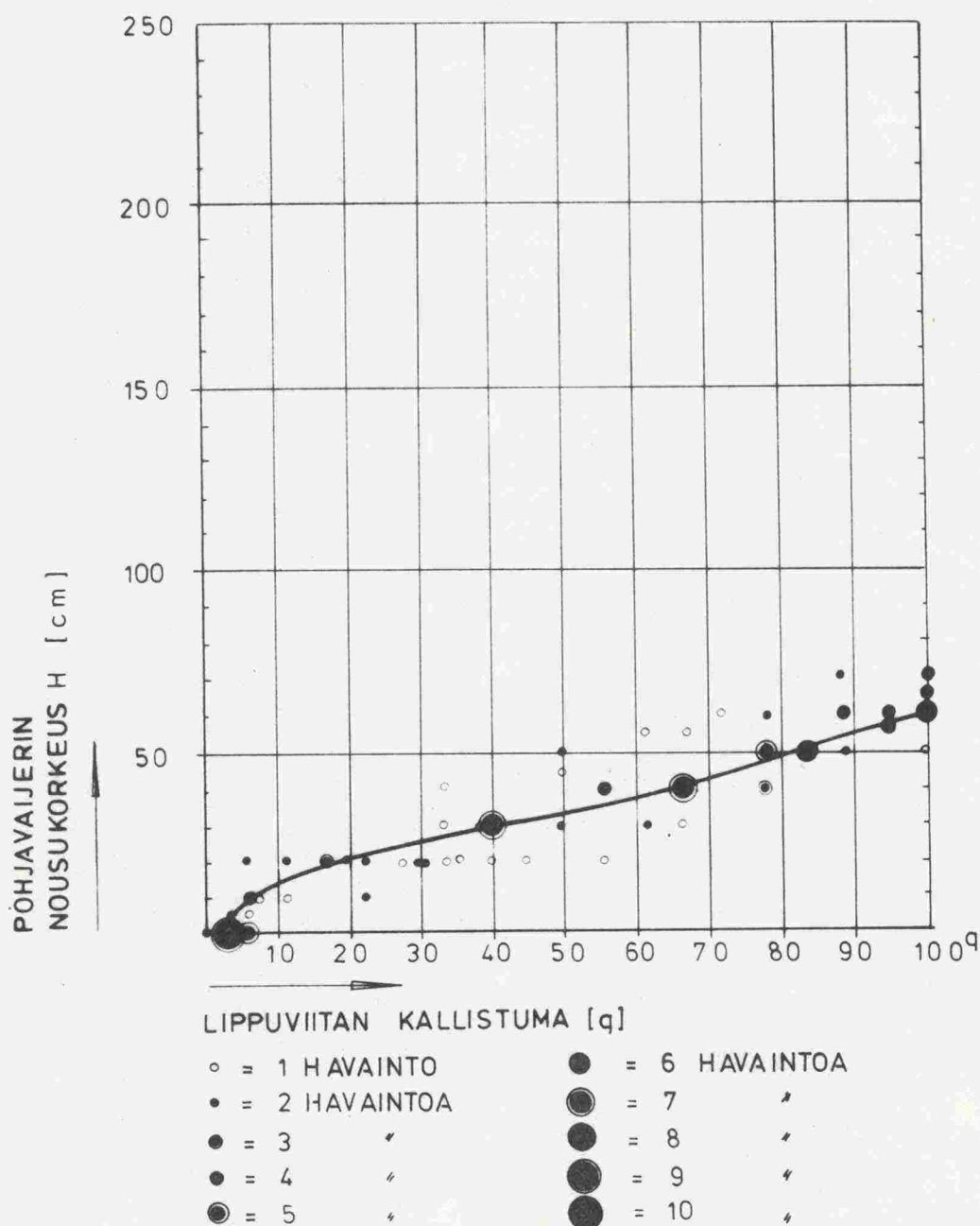
LIPPUVIITAN KALTEVUUDEN JA POHJAVAIJERIN NOUSUN VÄLINEN RIIPPUVUUS

NOSTO TAI TÖRMÄYSKOHTA 5 m:n LIPPUVIITTAVALIN KESKIKOHDASSA



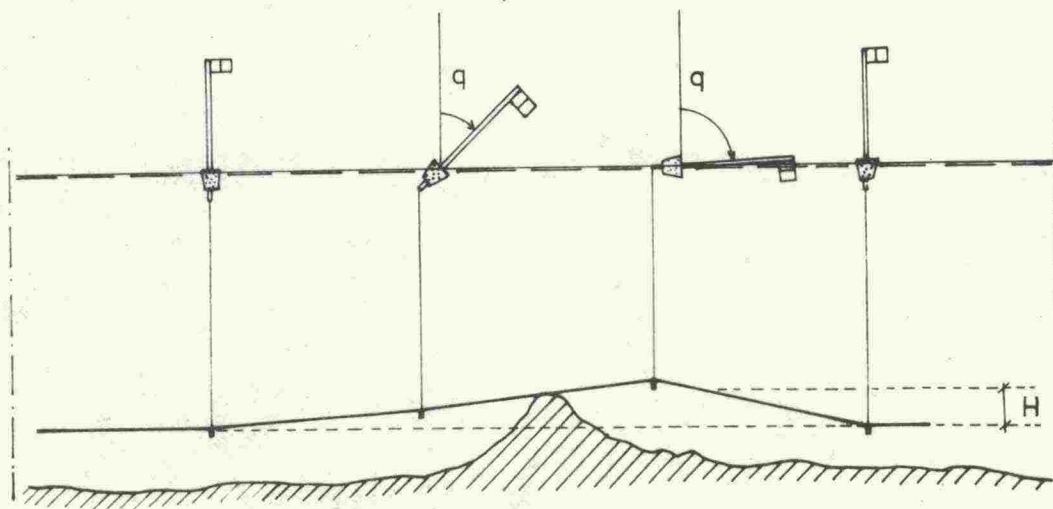
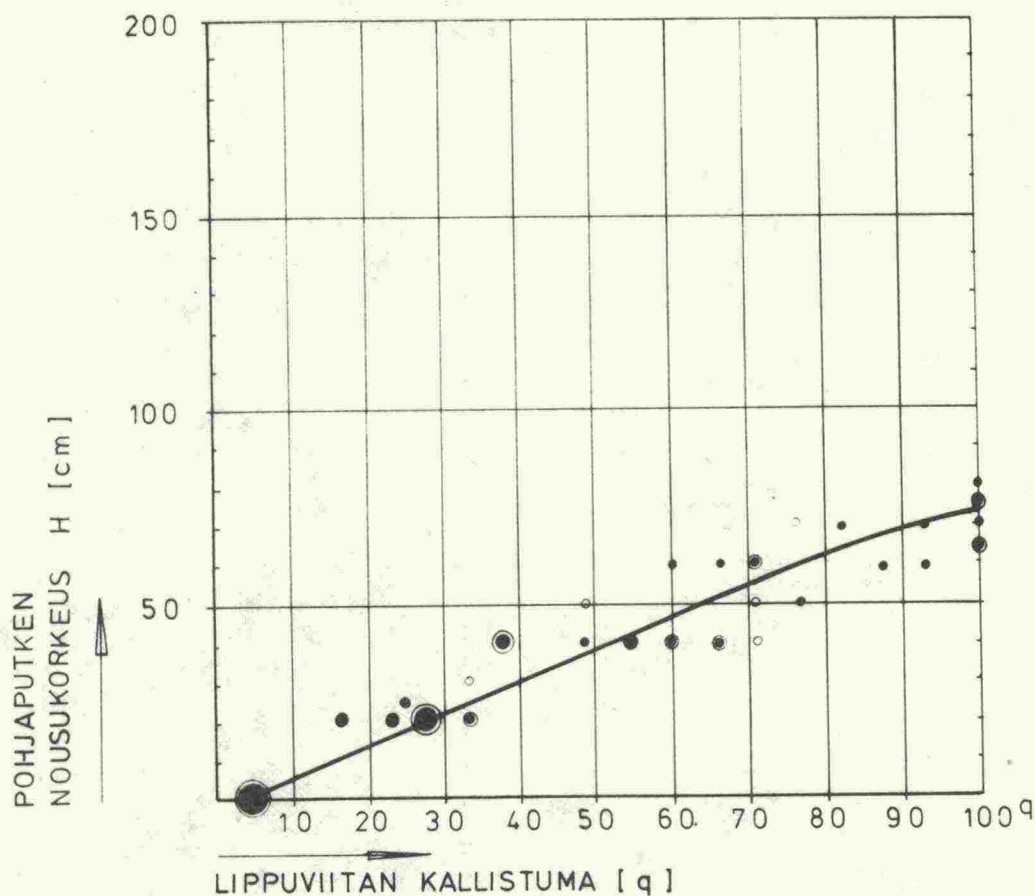
YKSITTÄISEN LIPPUVIITAN KALTEVUUDEN JA POHJAVAIJERIN NOUSUN VÄLINEN RIIPPUVUUS

NOSTO TAITÖRMÄYSKOHTA LIPPUVIITAN JA POHJAVAIJERIN KIINNITYSKOHDASSA

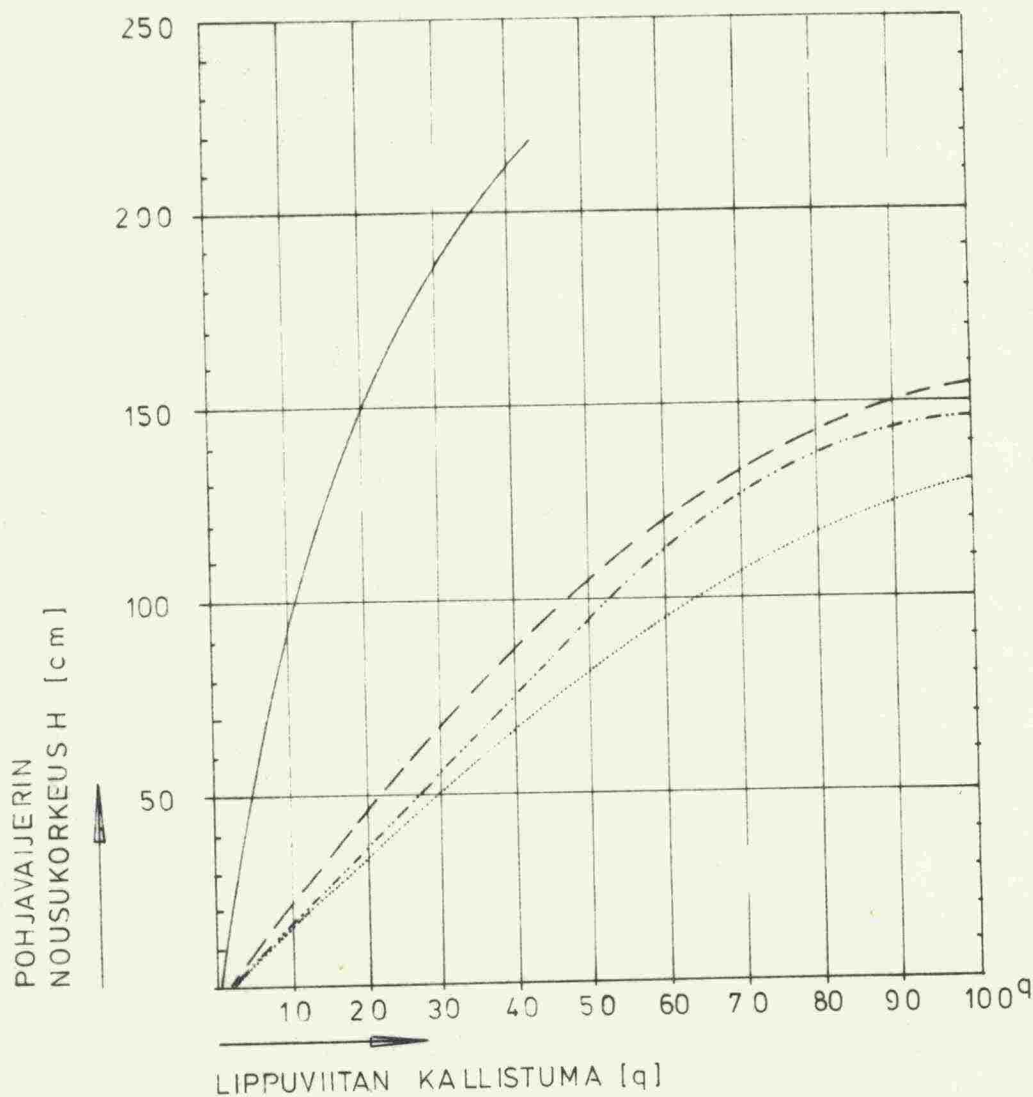


LIPPUVIITAN KALTEVUUDEN JA POHJAPUTKEN NOUSUN VÄLINEN RIIPPUVUUS

NOSTO TAI TÖRMÄYSKOHTA 6 m:n LIPPUVIITTAVALIN KESKIKOHDASSA

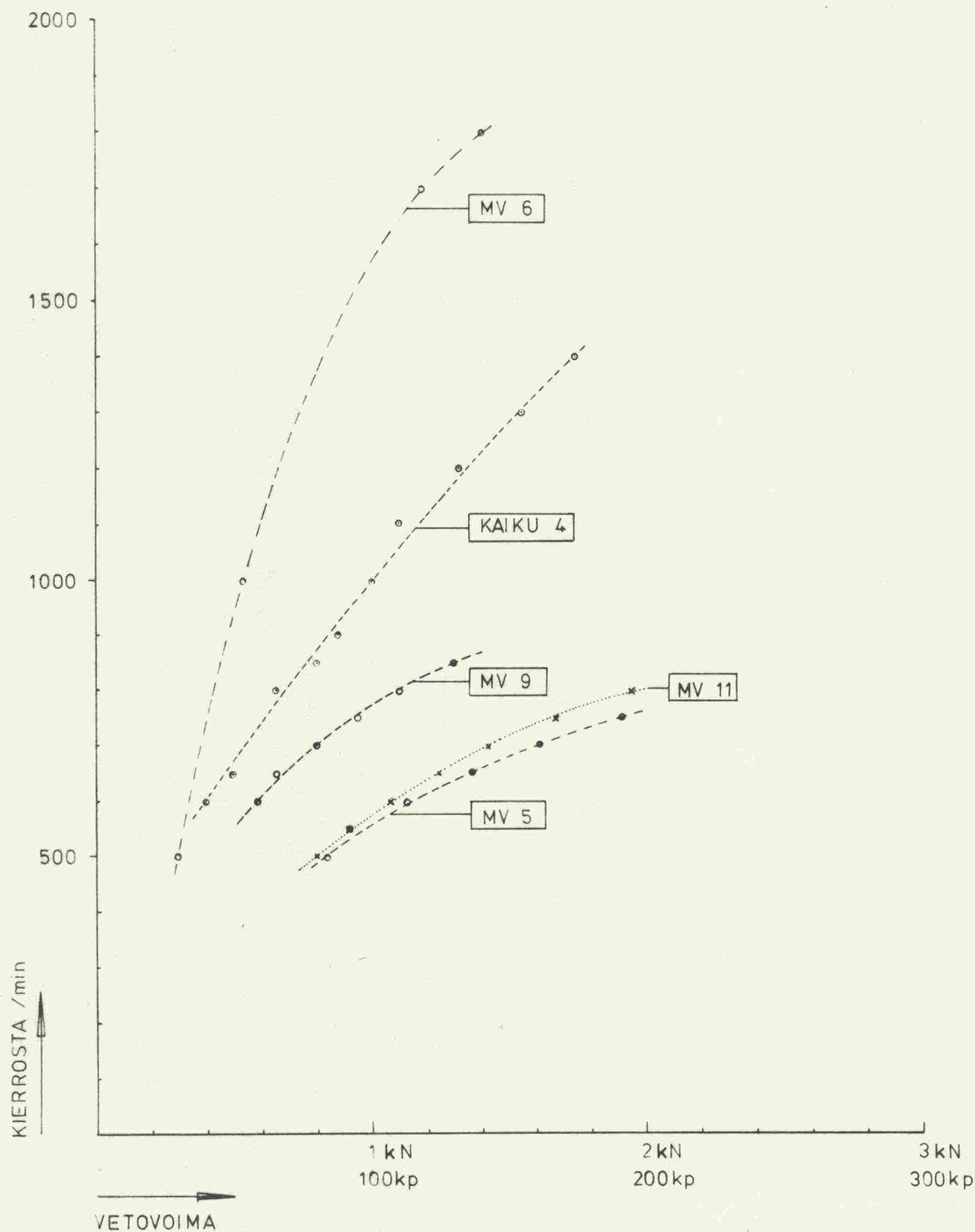


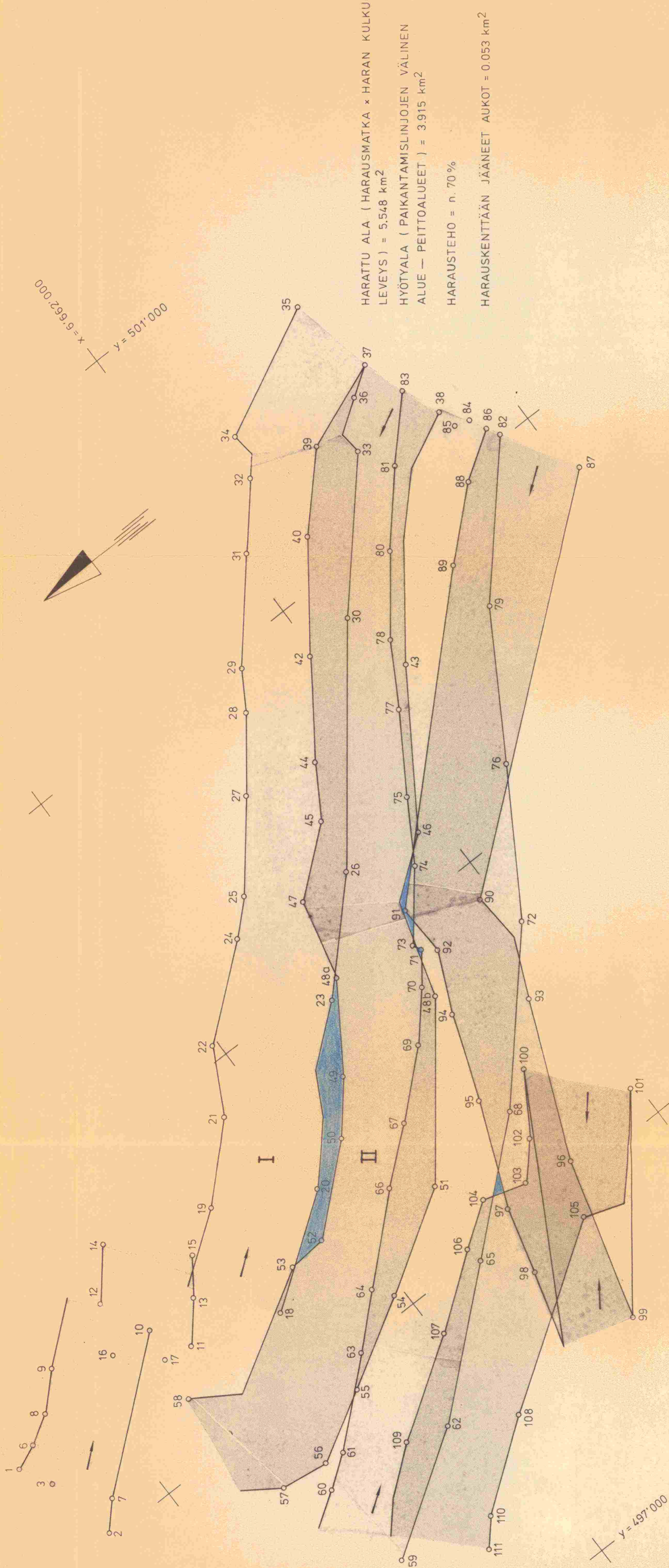
VETOVOIMAN, POHJAVAIJERIN NOUSUN JA LIPPUVIITAN KALLISTUMAN VÄLINEN RIIPPUVUUS HARAN PITUUS 130m



- VETOVOIMA ≈ 0 kN
- VETOVOIMA 0,7 kN (NORMAALI VETOVOIMA)
- · - · - VETOVOIMA 0,80-0,85 kN
- VETOVOIMA 1,1-1,2 kN

VETOVEIDEIDEN VETOVOIMAT MOOTTORIN KIERROSNOPEUKSIEN SUHTEEN





$x = 6662.000$
 $y = 501.000$

HARATTU ALA (HARAUSMATKA x HARAN KULKU-
LEVEYS) = 5.548 km²
HYÖTYALA (PAIKANTAMISLINJOJEN VÄLINEN
ALUE — PEITTOALUEET) = 3.915 km²

HARAUSTEHO = n. 70 %

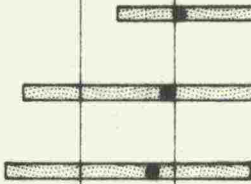
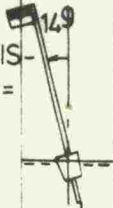
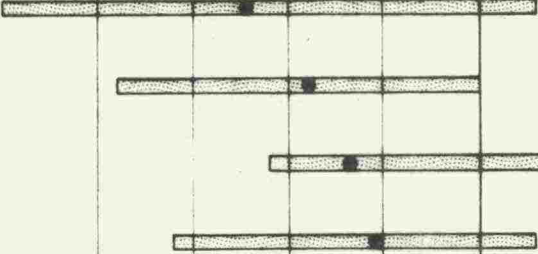
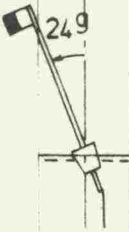
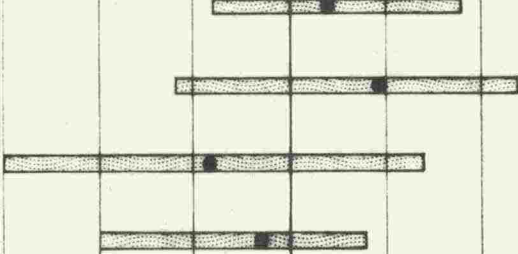

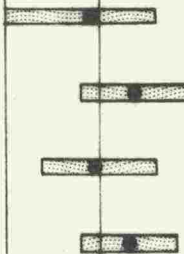

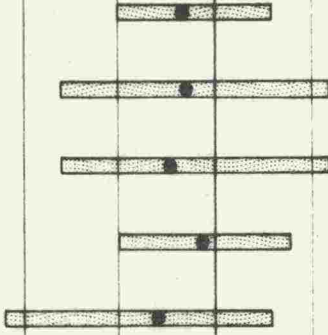

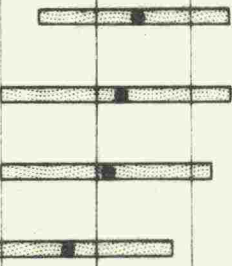
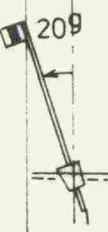
HARAUSKENTTÄÄN JÄÄNEET AUKOT = 0.053 km²

VAIJERIHARAUS
ALUE : UTÖ-ISKOKARI (KIH DIN VÄYLÄ)
1 : 10'000
HARATTU 21.7.1975

$x = 6661.000$
 $y = 499.000$

$x = 6663.000$
 $y = 497.000$

= YHDESTÄ VALOKUVASTA MITATTU
VAIJERIHARAN LIPPUVIITTOJEN KALLISTUSTEN
VAIHTELUALUE JA KESKIARVO TUULEN
NOPEUDEN JA SUUNNAN SUHTEEN

VAIJERIHARAUS	LIPPUVIITTOJEN POIKKEAMAT PYSTYTASON (0°) SUHTEEN				
	HARAUSSUUNTA →	VIITAN KALLISTUS TAAKSEPÄIN		VIITAN KALLISTUS ETEENP.	
		-20°	-10°	0°	+10° +20°
17.8.1977 AALLOT: KORKEUS $h=10-20\text{ cm}$ PITUUS $l\approx 5\text{ m}$ TUULI: 3 SOLMUA= 1.5 m/s VASTAINEN				1. KUVA 2. KUVA 3. KUVA	MAX. KALLISTUS = 14.9° 
18.8.1977 AALLOT: $h_{\text{kesk.}}=50\text{ cm}$ $h_{\text{min.}}=20-30\text{ cm}$ $h_{\text{max.}}=80-100\text{ cm}$ $l\approx 10-15\text{ m}$ TUULI: 10 SOLMUA= $\sim 5.2\text{ m/s}$ VASTAINEN					24.9° 
18.8.1977 AALLOT: $h_{\text{kesk.}}=50\text{ cm}$ $h_{\text{min.}}=20-30\text{ cm}$ $h_{\text{max.}}=80-100\text{ cm}$ $l\approx 10-15\text{ m}$ TUULI: 10 SOLMUA= $\sim 5.2\text{ m/s}$ MYÖTÄINEN					15.9° 
23.8.1977 AALLOT: merkitsevä aallonkorkeus = 14 cm $h_{\text{kesk.}}=10\text{ cm}$ $l\approx 4-5\text{ m}$ TUULI: 2 SOLMUA= $\sim 1.0\text{ m/s}$ VASTAINEN					10.9° 
8.9.1977 AALLOT: merkitsevä aallonkorkeus = 29 cm $h_{\text{kesk.}}=21\text{ cm}$ $h_{\text{min.}}=10\text{ cm}$ $h_{\text{max.}}=40\text{ cm}$ PITUUS $l\approx 5\text{ m}$ TUULI: 9 SOLMUA= $\sim 4.7\text{ m/s}$ MYÖTÄINEN					11.9° 
8.9.1977 AALLOT: KUIN YLLÄ TUULI: 9 SOLMUA= $\sim 4.7\text{ m/s}$ VASTAINEN					20.9° 

LASKELMAT

POIJUUN KOHDISTUVA PAINO

Ajonopeus 0,1 ... 1 m/s

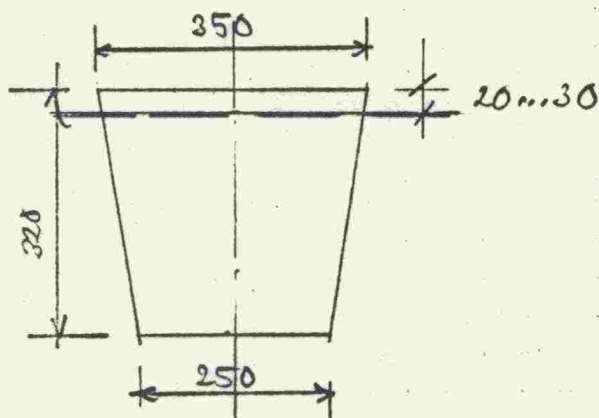
Pojjun tilavuus

$$V_{\text{max}} = \frac{\pi \cdot 3,2}{12} (2,5^2 + 2,5 \cdot 3,5 + 3,5^2) = 26,8 \text{ l}$$

Pohjapaino 45 kg
Lippuviitta 5 kg } = 20 kg

Styrox - poiju on lähes kotonaan upotissa

(Ylimääräistä nostetta töyfetä"virrä 2...3 kp)



Virtausla vastartava poitti-
pinta - ala

$$A_v = (0,25 + 0,34) \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,3 = 0,0885 \text{ m}^2$$

RIL 59e mukaan

$$P = k A v^2 \text{ [N]}$$

$$k = 0,8$$

v = 0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0

P = 0,071 kp
0,283 "
0,637 "
1,133 "
1,77 "
2,55 "
3,45 "
4,53 "
5,73 "
7,08 "

HARAN MUOTO VEDON AIKANA

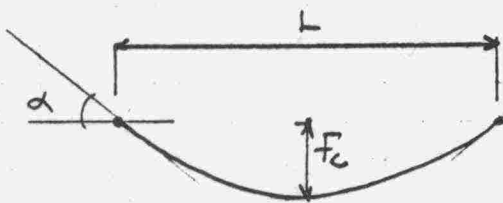
PEDUSMUOTONA PARABELI

Horauvaijeriin, syvyysvaijeriin ja lippaviittoihin kahdistuva virtausvastus oletetaan vaikuttavan tasoon joutuneena horausleveydelle, i. vaijerin muoto on parabeli.

$$\lambda = \frac{3}{2} \left(\frac{S}{L} - 1 \right) \quad S = 400 \text{ m} \quad L = 300, \dots, 400 \text{ m}$$

$$\frac{2 \cdot f_c}{L} = \sqrt{\lambda} \left(1 + \frac{3\lambda}{10} - \frac{159\lambda^2}{1400} + \frac{5111}{42000} \lambda^3 \right)$$

$$H_g = \frac{g_1 \cdot L^2}{8 f_c} \quad \tan \alpha = \frac{4 f_c}{L}$$



Vaijerin pituus = S
horausleveys = L

H_g = vaijerivoiman
vasta komponentti

g_1 = kuormitus

L	λ	f_c	α°	H_g
300	0,5	120,6	58,1	$93,3 \cdot g_1$
320	0,375	108,1	53,5	$118,4 \cdot g_1$
340	0,2647	94,6	48,1	$152,7 \cdot g_1$
360	0,1667	77,0	40,5	$210,5 \cdot g_1$
380	0,07895	54,6	29,9	$330,6 \cdot g_1$

HARAAAN KOHDISTUVAT PAINEET

Mittauksien on todetta seuraavat eteneemisnopeudet

1.	0,45	m/s
2.	0,52	"
3.	0,42	"
4.	0,51	"
5.	0,56	"
6.	0,56	"
7.	0,72	"
8.	0,51	"

$$v_m = 0,531 \text{ m/s}$$

$$\Delta v_1 = 0,45 - v_m \text{ jne.}$$

$$S = \sqrt{\frac{\Delta v_1^2 + \Delta v_2^2 + \dots + \Delta v_8^2}{7}} = 0,09 \text{ m/s}$$

$$v = 0,48 \text{ m/s} \dots 0,58 \text{ m/s} \quad \text{tarkkajonta huomioon otuna}$$

($v = 0,933 \dots 1,13$ solmua)

Lippuviittoon kohdistuva voima:

$v = 0,48 \text{ m/s}$	$P = 1,6 \text{ kp}$	$\therefore 65,6 \text{ kp}$
$v = 0,53 \text{ "}$	$= 2,0 \text{ "}$	$82,0 \text{ "}$
$v = 0,58 \text{ "}$	$= 2,4 \text{ "}$	$98,4 \text{ "}$

Vaijerisiin kohdistuvat voimat

- Syvyysvaijeri 13m, $\phi 5$, lippuviittoja 41 kpl

$$A_v = 13 \times 41 \times 0,005 = 2,67 \text{ m}^2 \quad 13 \times 31 \times 0,005 =$$

$v = 0,48 \text{ m/s}$	$P = 49,1 \text{ kp}$
$v = 0,53 \text{ m/s}$	$59,9 \text{ "}$
$v = 0,58 \text{ m/s}$	$71,7 \text{ "}$

- Horausvaijeri $\phi 5$ horauslevyn vaihtelua.

$$A_v = 0,005 \times 100 = 0,5 \text{ m}^2$$

$$v = 0,48 \text{ m/s}$$

$$p = 9,2 \text{ kp / 100 m}$$

$$v = 0,53 \text{ "}$$

$$11,2 \text{ "}$$

$$v = 0,58 \text{ "}$$

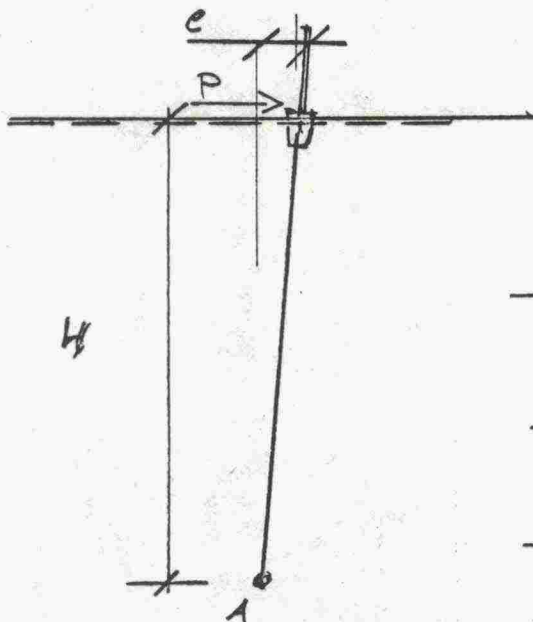
$$13,5 \text{ "}$$

Vaijerivoiman vaakakomponentit eri tilan tasoa

L	v	ΣP	g_1	H_g	D
300	0,48	142,3	0,474	44,3	83,8
	0,53	175,5	0,585	54,6	103,3
	0,58	210,6	0,702	65,5	124,0
320	0,48	144,1	0,450	53,3	89,6
	0,53	177,7	0,555	65,8	110,6
	0,58	213,3	0,667	78,9	132,7
340	0,48	146,0	0,429	65,6	98,1
	0,53	180,0	0,529	80,8	120,9
	0,58	216,0	0,635	97,0	145,2
360	0,48	147,8	0,411	86,4	113,7
	0,53	182,2	0,506	106,5	140,1
	0,58	218,7	0,608	127,9	168,3
380	0,48	149,7	0,394	120,2	150,2
	0,53	184,5	0,485	160,5	185,5
	0,58	221,4	0,583	192,6	222,1

Lippuviitan kalli'stuominen harausten aikana.

$\bar{z} = 15$ էր (բոլորաբան)



H/m	P/Ep	e/m
10	1,6	1,05
	2,0	1,35
	2,4	1,60
11	1,6	1,20
	2,0	1,45
	2,4	1,75
12	1,6	1,30
	2,0	1,60
	2,4	1,90
13	1,6	1,40
	2,0	1,75
	2,4	2,10

Kallistuman tabia horowsywywyr piencee

$$H = 11 \text{ m} \rightarrow \Delta h = 66, 140 \text{ mm}$$

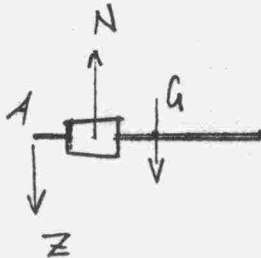
$$12\text{ m} \rightarrow \Delta h = 71 \dots 151 \text{ mm}$$

$$13m \rightarrow 4h = 76 \dots 170 \text{ mm}$$

Tasapainotilan tseen veto voiman Z tarkentus

$$G = 4,03 + 0,7 = 4,73 \text{ kp}$$

$$e_{pp} = \frac{1,075 \cdot 4,03 + 0,478 \cdot 0,7}{4,73} = 0,99 \text{ m}$$



$$\text{Noste} = N = Z + G$$

$$\text{Arvon mukaan } Z = 6,3 \text{ kp}$$

$$N = 6,3 + 4,7 = 11 \text{ kp}$$

$$M_A = -4,73 \cdot 0,99 + 11 \cdot 0,478 = +0,58 \text{ kpm} \quad \therefore$$

viitta pyrkii nousemaan ylös, jos voima $Z = 6,3 \text{ kp}$

Tasapainotila on saavutettuna kun $M_A = 0$,

silloin voiman N etäisyys on $0,425 \text{ m}$ ts.

kaltevassa veden pinnan suhteen $10...20^\circ$

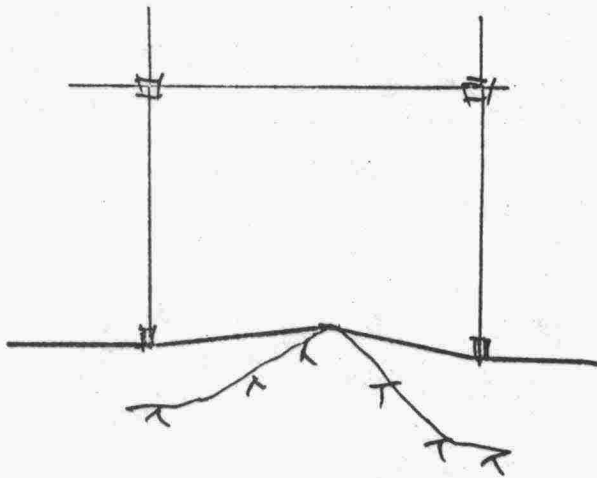
Todellinen viitta on vaaka-asento

asennossa kun $Z = 5,1 \text{ kp}$ ($N = 9,8 \text{ kp}$)

mutta voimen lisääntyminen $6,3 \text{ kp}$:iin

aiheuttaa vain, pienen kallistuman.

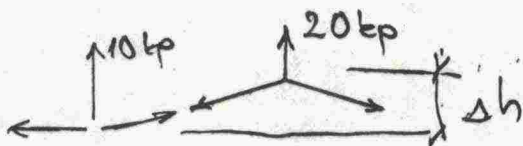
2. KOSKETUS VAIJERIN PAINOJEN VÄLILLÄ



vaijeri liukuu kirkkaim-
mesta kalliolla

Tähteen stabiiliteetin menettämiseen vaadittu
painon levennys $\Delta V = 10 \text{ kp}$

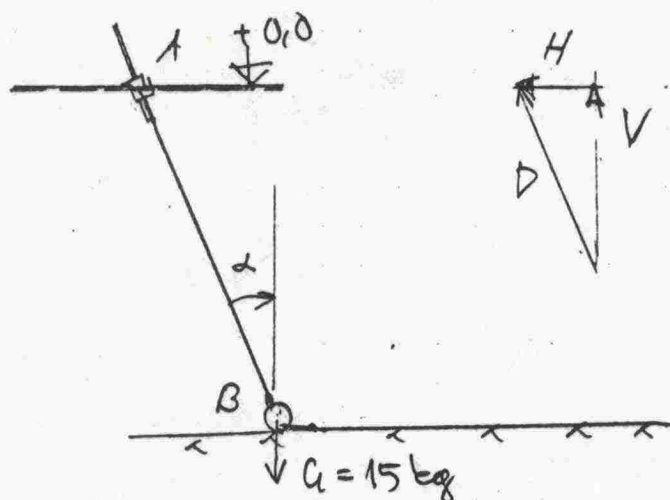
$H_g = 60 \dots 100 \text{ kp}$ nopea-
desta riippuen.



$$\frac{\Delta h}{5} = \frac{10 \text{ kp}}{H_g}$$

$$\Delta h = 50 \text{ kp} / H_g = 0,8 \dots 0,6 \dots 0,5 \text{ m nopeudesta riippuen.}$$

POHJAPAIKION LUIKUMINEN SILEÄLLÄ KALLIOILLA - vaihtetas sygyr vaijerin asentoon



$$\mu = 0,5 \quad (\text{kivi/teräs märkänä})$$

$$H_{\mu} = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ kp} \quad (\text{max})$$

Virtausvastuksen aiheuttama voima on
 yhtäsuuri kuin töydessä AB vallitsevan
 voiman vaakakomponentti

Rajatapauksessa (stabiili) $z = V = 6...7 \text{ kp}$

H arvioidean olevan keskim. 1 kp

$\alpha \approx 9,5^\circ$, tällöin vaadittu veto voima

housuvaijerissa on $\approx 5...6 \text{ kp}$ housusuunnassa

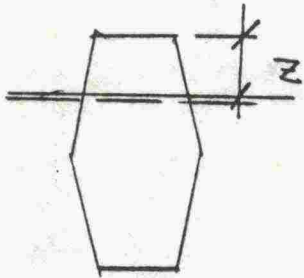
korkeusero pyrstyosaan verrattuna

$$\Delta h = h(1 - \cos \alpha) = 13(1 - \cos 10^\circ) = \underline{\underline{0,2 \text{ m}}}$$

(eridseen on huomioitava maanpinnan
 pohjapainon asennon vaihtelu)

VEIKOYDEN PÄSTYKOMPONENTIN VAIKUTUS LIITE 12/9.

Lasteen teräspaino asemasta alkeen
 erisuuruisien vaimien vaihtelun keuhapainon
 laskun mukaan



$$z = 180$$

$$4U = 0$$

$$V = \frac{\pi \cdot z}{3} (1,25^2 + 1,25 \left(\left(\frac{1,75 - 1,25}{3,2} \right) \cdot z + 1,25 \right) + \left(\frac{1,75 - 1,25}{3,2} \cdot z + 1,25 \right)^2)$$

1,25 M1
 1,25 M2
 3,2 M3
 M4

$$z = 180$$

$$z = 320$$

$$V_1 = 22,83 \text{ l}$$

$$zV = 22,83$$

$$180$$

$$10,97$$

$$= 34,69$$

$$200$$

$$12,48$$

$$= 33,18$$

$$220$$

$$14,04$$

$$= 31,62$$

$$240$$

$$15,67$$

$$= 29,79$$

$$260$$

$$17,36$$

$$= 28,30$$

$$280$$

$$19,12$$

$$= 26,54$$

$$300$$

$$20,94$$

$$= 24,72$$

$$170$$

$$10,29$$

$$= 35,42$$

$$160$$

$$9,53$$

$$= \underline{\underline{35,13}}$$

TERÄSPUTKI 4...5 kg

KESKUS 1,5 kg

POHJAPAINO 30 kg

$$\left. \begin{array}{l} \text{TERÄSPUTKI} \\ \text{KESKUS} \\ \text{POHJAPAINO} \end{array} \right\} \Sigma = 36 \text{ kg}$$

z mm	Δz mm	ΔV kg	
160	0	0	= VESIRAJAN ASENTO
180	20	1,44	
200	40	2,95	
220	60	4,51	
240	80	6,14	
260	100	7,83	
280	120	9,59	
300	140	11,41	
320	160	13,30	
340	180	15,19	
360	200	17,01	
380	220	18,77	
400	240	20,46	

Nousu ylös

TAVALLINEN POIKO



$$zg = 15 + 4 \dots 5 + 0,7 \approx 20 \text{ kg}$$

z mm	V_1	Δz mm	ΔV kg
320	22,83	-30	-
310	21,88	-20	-
300	20,94	-10	-
290	20,02	0	0
280	19,12	10	0,90
270	18,23	20	1,79
260	17,36	30	2,66

Nousu ylös

Lastefaon teennapoijon nousu ei
 horaussyyteille ja vetoeyden pituuteille,
 kun vetoaama on vabio 120 kp

1) $h = 13 \text{ m}$ $L = 80$ $\alpha = 9,35^\circ$ $H = 118,4 \text{ kp}$

$\Delta V_1 = \sin 9,35^\circ \cdot 120 \text{ kp} = 19,5 \text{ kp}$ $\Delta z = 228 \text{ mm}$

$\Delta V_2 = 2,7 \text{ "}$ $\Delta z = 30 \text{ "}$

$\Delta V_1 = 0,4 \text{ "}$ $\Delta z = 6 \text{ "}$
 22,6 kp

$k = \frac{19,5}{22,6} = 0,863$

$\Delta V_1 = k \cdot (19,5 + 0,4) = 17,2 \text{ kp}$

$\Delta V_2 = k \cdot (2,7) = 2,3 \text{ "}$
 19,5 kp

$\Delta z_1 = 202 \text{ mm}$

$\Delta z_2 = 26 \text{ "}$

2) $h = 13 \text{ m}$ $L = 100 \text{ m}$ $\alpha = 7,47^\circ$ $H = 119,0 \text{ kp}$

$\Delta V_1 = \sin 7,47^\circ \cdot 120 \text{ kp} = 15,60 \text{ kp}$ $\Delta z_1 = 185 \text{ mm}$

$\Delta V_2 = 2,2 \text{ "}$ $\Delta z_2 = 25 \text{ mm}$

$\Delta V_1 = 0,3 \text{ "}$ $\Delta z_1 = 4 \text{ mm}$
 18,1 kp

$k = \frac{15,6}{18,1} = 0,862$

$\Delta V_1 = k \cdot (15,6 + 0,3) = 13,7 \text{ kp}$

$\Delta V_2 = k \cdot 2,2 = 1,9 \text{ "}$

$\Delta z_1 = 164 \text{ mm}$

$\Delta z_2 = 22 \text{ "}$

3) $h = 13 \text{ m}$ $L = 120 \text{ m}$ $\alpha = 6,22^\circ$ $H = 119,3 \text{ t.p}$

$\Delta V_1 = \sin 6,22^\circ \cdot 120 \text{ t.p}$	=	13,0 t.p	$\Delta z_1 = 157 \text{ mm}$
$\Delta V_2 =$		1,9 "	$\Delta z_2 = 21 "$
$\Delta V_1 =$		0,3 "	$\Delta z_1 = 4 "$
		<u>15,2 t.p</u>	

$$k = \frac{13}{15,2} = 0,855$$

$$\Delta V_1 = k(13 + 0,3) = 11,4 \text{ t.p}$$

$$\Delta V_2 = k \cdot 1,9 = 1,6 \text{ t.p}$$

$\Delta z_1 =$	140 mm
$\Delta z_2 =$	18 "

4) $h = 12 \text{ m}$ $L = 80 \text{ m}$ $\alpha = 8,63^\circ$ $H = 118,6 \text{ t.p}$

$\Delta V_1 = \sin 8,63^\circ \cdot 120$	=	18,0 t.p	$\Delta z_1 = 211 \text{ mm}$
$\Delta V_2 =$	=	2,5 "	$\Delta z_2 = 28 "$
$\Delta V_1 =$	=	0,3 "	
		<u>20,8 t.p</u>	

$$k = \frac{18}{20,8} = 0,865$$

$$\Delta V_1 = k(18 + 0,3) = 15,8 \text{ t.p}$$

$$\Delta V_2 =$$

=	2,2 "
	<u>18,0 t.p</u>

$\Delta z_1 =$	187 mm
$\Delta z_2 =$	25 "

5) $\underline{h = 12\text{ m}} \quad \underline{L = 100\text{ m}} \quad \alpha = 6,89^\circ \quad H = 119,1\text{ cp}$

$\Delta V_1 = \sin 6,89^\circ \cdot 120 = 14,4\text{ cp} \quad \Delta Z_1 = 172\text{ mm}$

$\Delta V_2 = \frac{0,172}{10} \cdot 119,1 = 2,0\text{ "}$

$\Delta V_1 = \quad \quad \quad \underline{0,3\text{ "}}$
 $\quad \quad \quad \underline{16,7\text{ cp}}$

$k = \frac{14,4}{16,7} = 0,862$

$\Delta V_1 = k(14,4 + 0,3) = 12,7\text{ cp}$
 $\Delta V_2 = k \cdot 2 = \frac{1,7\text{ "}}{14,4\text{ cp}}$

$\Delta Z_1 = 154\text{ mm}$
$\Delta Z_2 = 20\text{ "}$

6) $\underline{h = 12\text{ m}} \quad \underline{L = 120\text{ m}} \quad \alpha = 5,74^\circ \quad H = 119,4\text{ cp}$

$\Delta V_1 = \sin 5,74^\circ \cdot 120 = 12,0\text{ cp} \quad \Delta Z_1 = 146\text{ mm}$

$\Delta V_2 = \frac{0,146}{10} \cdot 119,4 = 1,7\text{ "}$

$\Delta V_1 = \quad \quad \quad \underline{0,2\text{ "}}$
 $\quad \quad \quad \underline{13,9\text{ cp}}$

$k = \frac{12}{13,9} = 0,863$

$\Delta V_1 = k(12 + 0,2) = 10,5\text{ cp}$
 $\Delta V_2 = k \cdot 1,7 = \frac{1,5\text{ cp}}{12,0\text{ cp}}$

$\Delta Z_1 = 130\text{ mm}$
$\Delta Z_2 = 17\text{ "}$

7) $h = 11 \text{ m}$ $L = 80 \text{ m}$ $\alpha = 7,90^\circ$ $H = 118,9 \text{ kp}$

$\Delta V_1 = \sin 7,9^\circ \cdot 120 = 16,5 \text{ kp}$ $\Delta z_1 = 194 \text{ mm}$

$\Delta V_2 = \frac{0,194}{10} \cdot 118,9 = 2,3 \text{ "}$ $\Delta z_2 = 26 \text{ "}$

$\Delta V_1 =$
 $\frac{0,3 \text{ "}}{19,1 \text{ kp}}$

$k = \frac{16,5}{19,1} = 0,864$

$\Delta V_1 = k(16,5 + 0,3) = 14,5 \text{ kp}$

$\Delta V_2 = k \cdot 2,3 = \frac{2,0 \text{ "}}{16,5 \text{ kp}}$

$\Delta z_1 = 173 \text{ mm}$

$\Delta z_2 = 22 \text{ "}$

8) $h = 11 \text{ m}$ $L = 100 \text{ m}$ $\alpha = 6,32^\circ$ $H = 119,3 \text{ kp}$

$\Delta V_1 = \sin 6,32^\circ \cdot 120 = 13,2 \text{ kp}$ $\Delta z_1 = 159 \text{ mm}$

$\Delta V_2 = \frac{0,159}{10} \cdot 119,3 = 1,9 \text{ "}$ $\Delta z_2 = 21 \text{ "}$

$\Delta V_1 =$
 $\frac{0,3 \text{ "}}{15,4 \text{ kp}}$

$k = \frac{13,2}{15,4} = 0,857$

$\Delta V_1 = k(13,2 + 0,3) = 11,6 \text{ kp}$

$\Delta V_2 = k \cdot 1,9 = \frac{1,6 \text{ "}}{13,2 \text{ kp}}$

$\Delta z_1 = 142 \text{ mm}$

$\Delta z_2 = 18 \text{ "}$

9) $h = 11m$ $L = 120m$ $\alpha = 5,26^\circ$ $H = 119,5 \text{ тп}$

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= \sin 5,26^\circ \cdot 120 = 11,0 \text{ тп} & \Delta z_1 &= 135 \text{ мм} \\ \Delta V_2 &= \frac{0,135}{0,1} \cdot 119,5 = 1,6 \text{ " } & \Delta z_2 &= 18 \text{ " } \\ \Delta V_1 &= & & \\ & & & \hline & & & 12,8 \text{ тп} \end{aligned}$$

$$k = \frac{11}{12,8} = 0,859$$

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= 0,859 (11 + 0,2) = 9,6 \text{ тп} \\ \Delta V_2 &= 0,859 \cdot 1,6 = 1,4 \text{ " } \end{aligned}$$

$\Delta z_1 = 120 \text{ мм}$
$\Delta z_2 = 16 \text{ " }$

10) $h = 10m$ $L = 80m$ $\alpha = 7,18^\circ$ $H = 119,1 \text{ тп}$

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= \sin 7,18^\circ \cdot 120 = 15,0 \text{ тп} & \Delta z_1 &= 178 \text{ мм} \\ \Delta V_2 &= \frac{0,138}{10} \cdot 119,1 = 2,1 \text{ " } & \Delta z_2 &= 24 \text{ " } \\ \Delta V_1 &= & & \\ & & & \hline & & & 17,4 \text{ тп} \end{aligned}$$

$$k = \frac{15}{17,4} = 0,862$$

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= k (15 + 0,3) = 13,2 \text{ тп} \\ \Delta V_2 &= k \cdot 2,1 = 1,8 \text{ " } \\ & & & \hline & & & 15,0 \text{ " } \end{aligned}$$

$\Delta z_1 = 159 \text{ мм}$
$\Delta z_2 = 20 \text{ " }$

11) $h = 10m$ $L = 100m$ $\alpha = 5,74^\circ$ $H = 119,4 \text{ kp}$

$\Delta V_1 = \sin 5,74^\circ \cdot 120 = 12,0 \text{ kp}$ $\Delta z_1 = 146 \text{ mm}$

$\Delta V_2 = \frac{0,146}{10} \cdot 119,4 = 1,7 \text{ u}$ $\Delta z_2 = 19 \text{ u}$

$\Delta V_1 =$ $\frac{0,2 \text{ u}}{13,9 \text{ kp}}$ $\Delta z_1 =$

$k = \frac{12}{13,9} = 0,863$

$\Delta V_1 = k (12 + 0,2) = 10,5 \text{ kp}$

$\Delta V_2 = k \cdot 1,7 = 1,5 \text{ u}$
 $\frac{1,5 \text{ u}}{12,0 \text{ kp}}$

$\Delta z_1 = 130 \text{ mm}$

$\Delta z_2 = 17 \text{ u}$

12) $h = 10m$ $L = 120m$ $\alpha = 4,78^\circ$ $H = 119,6 \text{ kp}$

$\Delta V_1 = \sin 4,78^\circ \cdot 120 = 10,0 \text{ kp}$ $\Delta z_1 = 125 \text{ mm}$

$\Delta V_2 = \frac{0,125}{10} \cdot 119,6 = 1,5 \text{ kp}$ $\Delta z_2 = 17 \text{ mm}$

$\Delta V_1 =$ $\frac{0,2 \text{ kp}}{11,7 \text{ kp}}$

$k = \frac{10}{11,7} = 0,855$

$\Delta V_1 = k (10 + 0,2) = 8,7 \text{ kp}$

$\Delta V_2 = k \cdot 1,5 = 1,3 \text{ kp}$

$\Delta z_1 = 110 \text{ mm}$

$\Delta z_2 = 14 \text{ mm}$

1. Normaalitilanteessa

- syvyyssvaijein kallistuman vaihtelu (s. 5)
testimäärin otaksutaan

$$4h = \underline{70 \dots 150 \text{ mm}} \quad (12 \text{ m syv.})$$

Lisäksi reunoja voi nousta 90...120 mm
enemmän vetoarimon pystykomponentista
pohteen.

2. POHJAKOSKETUKSISSA

VAIJERIN KORKEUSASEMA KUIN STABILITEETTI
ON MENETETTY

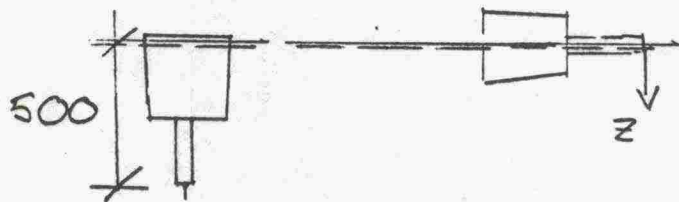
2.1 KOSKETUS POHJAPAINON KOHDALLA

- vaijerin kallistuman vaikutus (s.14)

$$\Delta h \approx 200 \text{ mm}$$

- kaatunut pöytä

$h = 500 \text{ mm}$ normaalitilanteessa



$$\Delta h = 500 \text{ mm}$$

$$\Sigma \Delta h = 200 + 500 \rightarrow \underline{\underline{700 \text{ mm}}}$$

2.2 KOSKETUS POHJAPAINOJEN VÄLILLÄ

a) vaijeri taakalle

$$\Sigma \Delta h = 1000 \dots 1100 + 800 \dots 500 \text{ mm}$$

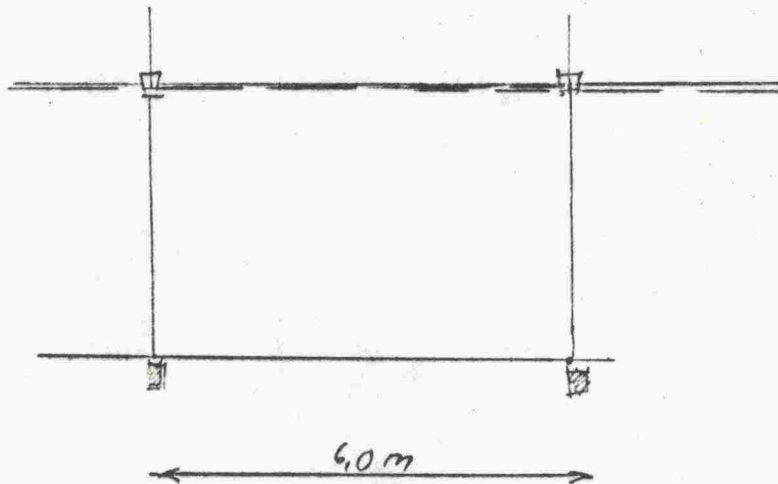
$$= \underline{\underline{1500 \dots 1900 \text{ mm}}}, \text{ keskim. } \underline{\underline{1700 \text{ mm}}}$$

b) vaijeri liukuu bitteillä, painon asento ei
muutu paljon (10 mm)

$$\Sigma \Delta h = \underline{\underline{1250 \dots 1650 \text{ mm}}}, \text{ keskim. } \underline{\underline{1450 \text{ mm}}}$$

PUTKIHARAN DIMENSIOT

Pohjois-suunnan määrämönä



Oletetaan pohjois-suunnan tangon puoliväliin ja nousun olevan niin suuri että lippuviitot ovat kaatuneet, ja koko kaatunut siirtynyt tangolle

$$M_{max} = 3 \cdot 0,15 = 0,45 \text{ tNm}$$

$$\sigma_{sa} = 340 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{alimpi määräraja})$$

$$W \geq \frac{0,45 \cdot 10^6}{340} = 1324 \text{ mm}^3$$

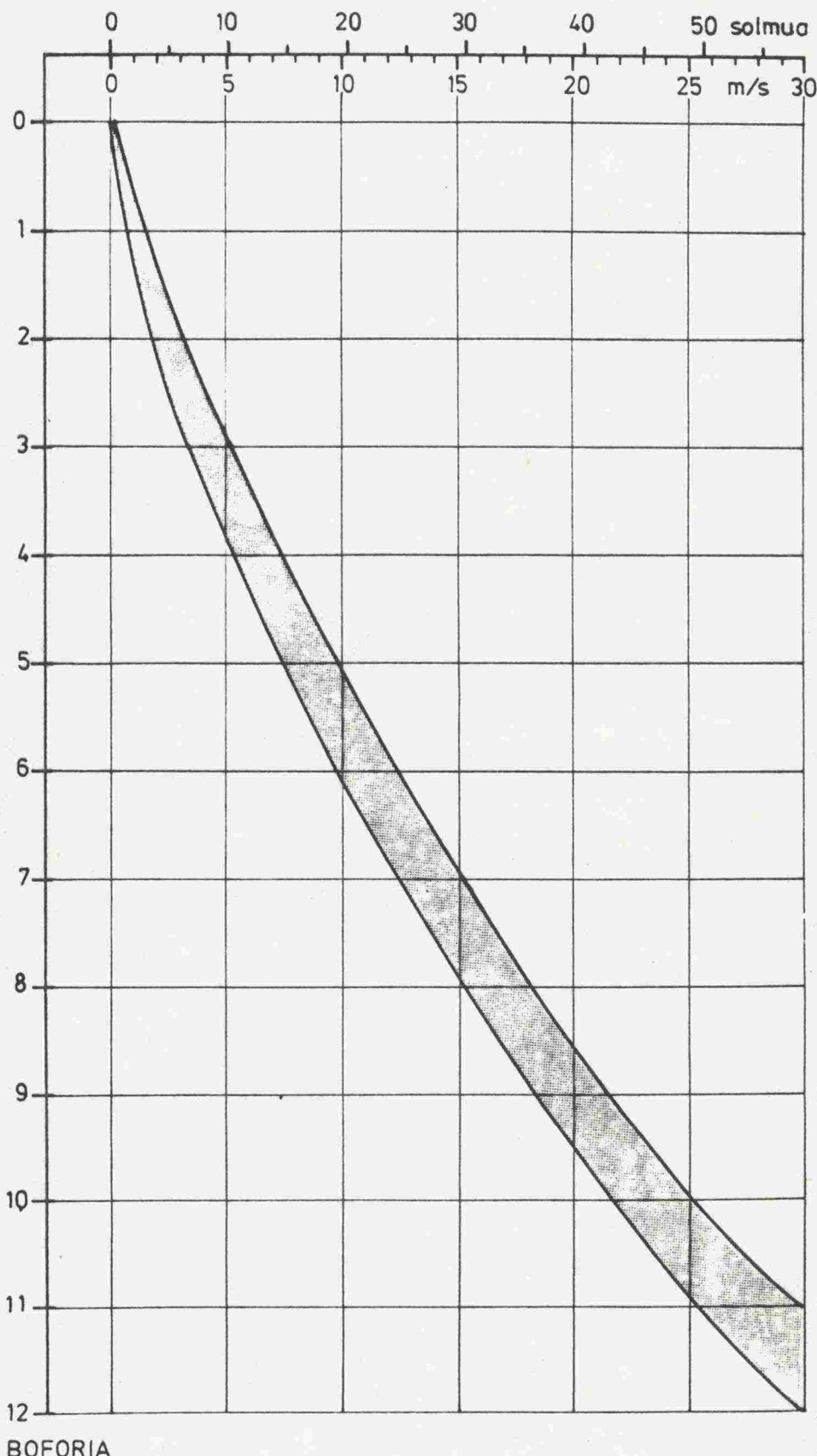
NS 25
 Putki $\phi 32$ $s = 3,0 \text{ mm}$ $W = 1820 \text{ mm}^3$ Fe 52D
 2,15 kg/m

$$\sigma_{sa} = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$W \geq 2045 \text{ mm}^3$$

putki $\phi 38$ $s = 2,5 \text{ mm}$ $W = 2323 \text{ mm}^3$ Fe 37
 2,19 kg/m

Tuulen voima boforina	Tuulen nimitys	Tuulen vaikutukset	
		maalla	avomerellä
0	Tyyni	Savu nousee pysty- suoraan	Peilityyni meri
1	Hiljai- nen tuuli	Tuulen suunnan nä- kee savun liikkee- tä. Tuuliviiri ei käännä	Meren pinnassa pien- tä karettä
2	Heikko tuuli	Tuuli tuntuu ihoon. Puiden lehdet ka- hisevat. Tavallinen viiri kääntyy	Lyhyitä aaltoja, jotka eivät murru
3	Heikon- lainen tuuli	Puiden lehdet ja leh- vät liikkuvat. Ke- vyt lippu suoristuu	Aallon harjat murtu- vat silloin tällöin. Läpinäkyvää vaahtoa aallon harjalla
4	Kohta- lainen tuuli	Pienet oksat heiluvat. Nostaa maasta pö- lyä ja irtonaisia pa- perin palasia	Pitkähköjä aaltoja. Vaahtopäitä, jotka kohahtelevat
5	Navak- ka tuuli	Pienehköt lehtipuut heiluvat. Järven- selällä vaahtopäitä	Aallon harjat kaut- taaltaan valkoisina vaahtopäinä. Meri kohisee jatkuvasti
6	Kova tuuli	Suuret oksat heiluvat. Suhisee sattussaan taloihin ja kiinteis- iin esineisiin	Aaltojen vaahto le- viää. Meri kohisee kumeasti
7	Luja tuuli	Puut heiluvat. Vasten- tuulta kulkeminen vaikeata	Aaltojen huiput murtu- tuvat. Vaahto jär- jestyy tuulen suun- taisiksi juoviksi. Kohina kuuluu kauas
8	Myrsky- inen tuuli	Katkoo puiden oksia. Ulkona liikkuminen vaikeata	Aallot pitkiä ja ver- raten korkeita. Vaahto tiheinä tuu- len suuntaisina juo- vina
9	Myrsky	Katkoo puita. Vau- rioittaa heikkokkoja rakennuksia, irrot- taa kattotiiliä ja särkee savupiipun hattuja	Aallot korkeita. Aal- tojen pärske huon- ontaa hiukan nä- kyvyyttä. Meripau- haa
10	Kova myrsky	Kiskoo puita juuri- neen. Aiheuttaa huomattavaa vah- inkoa rakennuk- sille. Sattuu har- voin sisämaassa	Aaltovuoria. Meren- pinta valkoisena vaahdosta. Pauhu kovaa, puuskittais- ta. Aaltojen pärske huonontaa näky- vyyttä
11	Ankara myrsky	Kaataa metsää. Siir- tää rakennuksia. Sattuu erittäin har- voin sisämaassa	Näköpiirissä olevat laivat katoavat aal- tovuorien taakse. Koko merenpinta valkoisena. Pärske huonontaa huomattavasti näkyvyyttä
12	Hirmu- myrsky	Tuhoaa perin pohjin rakennukset ym.	Koko merenpinta val- koisena. Näkyvyys erittäin huono



TUULEN NOPEUDEN JA BOFORIEN
VÄLINEN RIIPPUVUUS